Band 42 _ PRODUKTION UND ENERGIE

Rebekka Volk, Elias Naber, Frank Schultmann,
Thomas Lützkendorf, Kai Mörmann, Stefan Norra,
Denise Böhnke, Alice Krehl, Rainer Schuhmann,
Anke Ehbrecht, Thomas Beck, Philipp Tomaschewski,
Julia Hackenbruch, Sybille Rosenberg, Norbert Hacker

BEWERTUNG DER ÖKOLOGIE, WIRTSCHAFTLICHKEIT UND SOZIALEN EFFEKTE VON RESSOURCENEFFIZIENZ-STEIGERNDEN MASSNAHMEN AUF QUARTIERSEBENE – VON DER VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN ZUR AKTEURS-SPEZIFISCHEN PERSPEKTIVE (NaMaRes)

SCHLUSSBERICHT DES FORSCHUNGSVORHABENS



Rebekka Volk, Elias Naber, Frank Schultmann,
Thomas Lützkendorf, Kai Mörmann, Stefan Norra,
Denise Böhnke, Alice Krehl, Rainer Schuhmann,
Anke Ehbrecht, Thomas Beck, Philipp Tomaschewski,
Julia Hackenbruch, Sybille Rosenberg, Norbert Hacker

Bewertung der Ökologie, Wirtschaftlichkeit und sozialen Effekte von ressourceneffizienzsteigernden Maßnahmen auf Quartiersebene – von der volkswirtschaftlichen zur akteursspezifischen Perspektive (NaMaRes)

Schlussbericht des Forschungsvorhabens

PRODUKTION UND ENERGIE

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung

Band 42

Eine Übersicht aller bisher in dieser Schriftenreihe
erschienenen Bände finden Sie am Ende des Buches.

Bewertung der Ökologie, Wirtschaftlichkeit und sozialen Effekte von ressourcen-effizienzsteigernden Maßnahmen auf Quartiersebene – von der volkswirtschaftlichen zur akteursspezifischen Perspektive (NaMaRes)

Schlussbericht des Forschungsvorhabens

von
Rebekka Volk, Elias Naber, Frank Schultmann,
Thomas Lützkendorf, Kai Mörmann, Stefan Norra,
Denise Böhnke, Alice Krehl, Rainer Schuhmann,
Anke Ehbrecht, Thomas Beck, Philipp Tomaschewski,
Julia Hackenbruch, Sybille Rosenberg, Norbert Hacker



Impressum

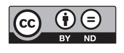


Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark
of Karlsruhe Institute of Technology.
Reprint using the book cover is not allowed.

www.ksp.kit.edu

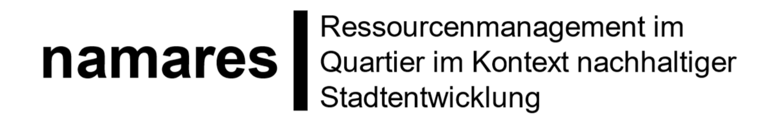




Print on Demand 2023 – Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ISSN 2194-2404
ISBN 978-3-7315-1293-6
DOI 10.5445/KSP/1000157235

Bewertung der Ökologie, Wirtschaftlichkeit und sozialen Effekte von ressourceneffizienzsteigernden Maßnahmen auf Quartiersebene – von der volkswirtschaftlichen zur akteursspezifischen Perspektive (NaMaRes)



Schlussbericht des Forschungsvorhabens

Gefördert von: Bundesministerium für Bildung und Forschung



Gesamtlaufzeit des Projekts: 01.04.2019 – 30.06.2022 (inkl. kostenneutraler Verlängerung)

Förderkennzeichen: 033W111A, 033W111B, 033W111C

Berichterstatter/-innen / Autoren/-innen:

PD Dr.-Ing. Rebekka Volk (KIT)
M. Sc. Elias Naber (KIT)
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann (KIT)
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf (KIT)
M. Sc. Kai Mörmann (KIT)
Prof. Dr. Stefan Norra (Universität Potsdam, ehem. KIT)
Dr. Denise Böhnke (KIT)
M. Sc. Alice Krehl (KIT)
Dr.-Ing. Rainer Schuhmann (KIT)
Anke Ehbrecht (KIT)
Thomas Beck (Smart Geomatics)
Philipp Tomaschewski (Smart Geomatics)
Dr. Julia Hackenbruch (Stadt Karlsruhe)
Sybille Rosenberg (Stadt Karlsruhe)
Norbert Hacker (Stadt Karlsruhe)

Kurzfassung

Das Ziel des NaMaRes-Projekts war die Entwicklung von digitalen Werkzeugen und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für einen integrierten Planungs- und Transformationsprozess auf Quartiersebene hin zu ressourcen-effizienten Bestandsquartieren. Das Konsortium bestand aus vier Forschungs-instituten des Karlsruher Instituts für Technologie und zwei Praxispartnern. Die zentralen Ergebnisse des Projekts sind zahlreiche wissenschaftlich begutachtete Publikationen, ein akademisches Berechnungsmodell und eine darauf aufbauende Webanwendung (Software) sowie die Dokumentation von Grundlagen und geeigneten Indikatoren in Leitfäden zu den Themen Wasser, Stoffe, Fläche und Ökosystemleistungen. Die Projektergebnisse tragen maßgeblich zu einer verbesserten Informationslage über Bestandsquartiere hinsichtlich ihrer Ressourcenverfügbarkeit und -nutzung bei und bieten eine wichtige Grundlage für Planer/-innen, Stakeholder und Entscheider/-innen in der politischen und gesellschaftlichen Diskussion sowie der konkreten städtischen Umsetzungsplanung und Investitionsentscheidung. Das Projekt leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Operationalisierung und lokalen Umsetzung der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen in Städten.

Abstract

The NaMaRes project aimed to develop digital tools and recommendations for action for an integrated planning and transformation process at the neighborhood level towards resource-efficient existing neighborhoods. The consortium comprised four research institutes of the Karlsruhe Institute of Technology and two cooperation partners. The central results of the project are numerous scientifically reviewed publications, an academic calculation model and a web application (software) based on it, as well as the documentation of fundamentals, suitable indicators, and guidelines on the aspects of water, materials, land, and ecosystem services in urban development. The project results contribute significantly to an improved information situation on existing neighborhoods with regard to their resource availability and use and provide an important basis for planners, stakeholders, and decision-makers in the political and social discussion as well as in specific urban implementation planning and investment decisions. The project thus makes an influential contribution to the operationalization and practical implementation of the Sustainable Development Goals of the United Nations in cities.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

AFA	Amt für Abfallwirtschaft
AfSta	Statistisches Amt
AG	Arbeitsgruppe
AGW	Institut für Angewandte Geowissenschaften am Karlsruher Institut für Technologie
AIC	Akaike-Informationskriterium
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AP	Arbeitspaket
BHD	Brusthöhendurchmesser
BIC	Bayes'sche Informationskriterium
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAPEX	Investitions-/Kapitalausgaben
CityGML	City Geography Markup Language
CMM	Kompetenzzentrum für Materialfeuchte am Karlsruher Institut für Technologie
DB	Datenbank

DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
erg	Maßnahme „Extensive Dachbegrünung“
FIWI/ÖÖW	Fachgebiet Immobilienwirtschaft/ Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus
fmpv	Maßnahme „Photovoltaik an Fassaden“
gbfg	Maßnahme „Fassadenbegrünung am Boden“
GIS	Geographisches Informationssystem
GUI	Graphical User Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IIP	Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion am Karlsruher Institut für Technologie
iiSBE	Internationale Initiative für eine nachhaltig gebaute Umwelt
irg	Maßnahme „Intensive Dachbegrünung“
IT	Informationstechnik/-technologie
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LCOE	Levelized Cost of Electricity/Energy (Stromgestehungskosten)
LOD	Level of Detail
ÖP	Ökopunkte

OPEX	Instandhaltungs-/Betriebsausgaben
ORD-BMS	Objektrelationales Datenbankmanagementsystem
ÖSL	Ökosystemleistungen
PME	Pneumatische Müllentsorgung
PV	Photovoltaik
pvrg	Maßnahme „Photovoltaik und Dachbegrünung“
RES:Z	Fördermaßnahme Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft
rmpv	Maßnahme „Photovoltaikdach“
SDG	Sustainable Development Goals
sdg	Maßnahme „Bodenentsiegelung/Hausgarten“
SG	Smart Geomatics GmbH
SQL	Structured Query Language
UBA	Umweltbundesamt
UI	User Interface
uprg	Maßnahme „Tiefgaragendachbegrünung“
VKS	Verband kommunaler Abfallwirtschaft und Stadtreinigung
VKU	Verband kommunaler Unternehmen
wbfg	Maßnahme „Wandgebundene Fassadenbegrünung“

Vorwort

Ein zunehmendes gesellschaftliches Interesse fordert nachhaltigere, klimaschonendere, klimaangepasstere, biodiversere und ressourceneffizientere städtische Quartiere. Insbesondere Bestandsquartiere stehen vor der Herausforderung, mit verfügbaren Ressourcen (hier: Flächen und Böden, Wasser, Ökosystemleistungen/Biodiversität und primäre Rohstoffe) schonend umzugehen und integrierte Lösungen für eine effizientere Ressourcennutzung zu entwickeln, zu bewerten und deren Umsetzung voranzutreiben.

Der vorliegende Sach- und Abschlussbericht beschreibt die wesentlichen Arbeiten und Ergebnisse im Rahmen des Forschungsvorhabens "NaMaRes - Bewertung der Ökologie, Wirtschaftlichkeit und sozialen Effekte von ressourceneffizienzsteigernden Maßnahmen auf Quartiersebene – von der volkswirtschaftlichen zur akteursspezifischen Perspektive".

Das Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter den Kennziffern 033W111A, 033W111B, 033W111C gefördert. Das Projekt unterstützt die Umsetzung der Leitinitiative Zukunftsstadt des BMBF1-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONA3" innerhalb der Richtlinie „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft" und zum Thema des „Nachhaltigen urbanen Flächenmanagements".

Die Autoren/-innen bedanken sich sehr herzlich für die Förderung.

Karlsruhe, im Januar 2023

1 Kurzbericht

Ziel des Verbundprojekts NaMaRes war die Erarbeitung und Aufbereitung von methodischen Grundlagen und Handlungsempfehlungen sowie die Entwicklung von (digitalen) Werkzeugen für einen integrierten Planungs- und Transformationsprozess auf Quartiersebene hin zu ressourceneffizienten Bestandsquartieren. Das beteiligte Konsortium bestand aus vier Forschungsinstituten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT): dem Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP, Projektkoordination), dem Lehrstuhl für Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus (ÖÖW) als Teil des Fachgebiets Immobilienwirtschaft (FIWI), dem Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (CMM) und dem Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW) sowie den beiden Praxispartnern Smart Geomatics Informationssysteme GmbH (Smart Geomatics) und der Stadt Karlsruhe mit dem Amt für Umwelt- und Arbeitsschutz und dem Stadtplanungsamt.

Zentrale Ergebnisse des Verbundprojekts sind zahlreiche wissenschaftlich begutachtete Publikationen, ein akademisches Modell und eine darauf aufbauende Webanwendung, sowie die Dokumentation von Grundlagen, geeigneten Indikatoren und Leitfäden zu den Themen Wasser, Stoffe, Fläche und Ökosystemleistungen. Die Projektergebnisse tragen maßgeblich zu einer verbesserten Informationslage über Bestandsquartiere hinsichtlich ihrer Ressourcenverfügbarkeit und -nutzung bei. Erstmals können so unterschiedliche Interventionsmaßnahmen auf Basis vergleichbarer Indikatoren, einheitlicher Bearbeitungsraster, realistisch und objektiv bewertet und miteinander verglichen werden. Damit bilden die Ergebnisse eine wichtige Grundlage für Planer/-innen, aber auch für (lokale) Stakeholder und Entscheider/-innen in der politischen und gesellschaftlichen Diskussion und der konkreten städtischen/administrativen Umsetzungsplanung und Investitionsentscheidung. So leistet das Projekt und dessen Ergebnisse einen wichtigen Beitrag zur Operationalisierung und lokalen Umsetzung der Sustainable Development Goals der

Vereinten Nationen in Städten, insbesondere in den Bereichen Ressourceneffizienz, Klimaschutz, Klimaanpassung und Lebensqualität.

In der **kommunalen Planungspraxis** zur Planung und nachhaltigen Entwicklung von urbanen Gebieten können im Neubaubereich nach jetzigem **Stand der Wissenschaft und Technik** die im Projekt betrachteten Ressourcenfelder (Stoff, Fläche, Wasser) bereits mit den vorhandenen Planungsinstrumenten und -konzepten adressiert werden. Das wichtigste formelle Planungsinstrument für die Stadtentwicklung ist die Bauleitplanung. Trotz der Berücksichtigung von Klima- und Naturschutzaspekten in der Bauleitplanung wird infrage gestellt, wie effektiv dieses Instrument in Bezug auf die nachhaltige Stadtentwicklung wirkt [1]. Insbesondere bezüglich des Handlungsfelds der nachhaltigkeitsorientierten Weiterentwicklung bestehender Quartiere ergeben sich verschiedene Hemmnisse und Herausforderungen. Im Wesentlichen sind diese durch die historisch gewachsenen Bau-, Sozial- und Eigentümerstrukturen des jeweiligen Bestandsquartiers bestimmt. Hier bieten die meisten verfügbaren und eingesetzten Werkzeuge wenig Unterstützung bei der Planung und Entscheidungsfindung und können die Anforderung für eine datenbasierte und handlungsorientierte Bewertung schwieriger erfüllen. Somit werden viele Nachhaltigkeitsaspekte nicht hinreichend berücksichtigt, da der Planungs- und Durchführungsaufwand sehr hoch ist und die beteiligten Verwaltungen über wenig freie Kapazitäten verfügen, um derartige zusätzliche Aufgaben zu übernehmen. Daher werden Nachhaltigkeitsmaßnahmen schlechter erfasst oder bewertet und somit Potenziale nicht methodisch identifiziert und angegangen. Dieses trifft insbesondere für mittlere und kleine Kommunen/Städte zu [2].

Wissenschaftlich konnte u. a. eine Analyse von über 50 digitalen Werkzeugen verschiedener Marktreifegrade die Notwendigkeit der Entwicklung eines eigenen Ansatzes bestätigen [3]. Die wesentlichen wissenschaftlichen Projektergebnisse wurden in fünf unabhängig begutachteten Publikationen beschrieben [3–8]. Hierunter fallen Anknüpfungspunkte, welche einzelne Aspekte der Bewertung von lokalen Ressourcen oder Grundlagenforschung betreffen (z. B.

die lokale Wirkung von Begrünungen oder die Simulation der Evapotranspiration). Insgesamt musste viel Entwicklungsarbeit geleistet werden, da die meisten Ansätze nicht die notwendige Granularität und Bearbeitungsraster abbildeten.

Technisch konnte an vorhandenen Leitfäden und Normen/ Richtlinien (z. B. [9, 10]) und Softwareplattformen (z. B. PostgreSQL) angeknüpft werden. Für die Umsetzung der Webanwendung waren Anknüpfungspunkte zu Vorarbeiten des Praxispartners vorhanden. Trotz dieser Vorarbeiten war eine Neuentwicklung für das neuartige Anwendungsgebiet notwendig. Das Vorhaben, oder dem Vorhaben ähnliche Projekte, Entwicklungen, Untersuchungen und Patente sind dem Konsortium nicht bekannt. Dem Konsortium sind auch keine Schutzrechte und Schutzrechtsanmeldungen bekannt, die einer Ergebnisverwertung entgegenstehen.

Ablauf des Vorhabens: Das Forschungsvorhaben war in 11 Arbeitspaketen gegliedert. Zusätzlich wurde ein Antrag für eine zweite und anschließenden Förderphase gestellt. Die geplante Projektdauer war 3 Jahre (01.04.2019 - 31.03.2022). Die meisten geplanten Arbeitspakete wurden in dieser Zeit erfolgreich bearbeitet. Arbeiten mit vorgesehenen Begehungen im Untersuchungsgebiet, Öffentlichkeitsarbeit sowie einer Einbindung von privaten, kommunalen und gewerblichen Eigentümer/-innen waren durch die Covid-19-Pandemie von Verzögerungen betroffen oder konnten nicht im geplanten Umfang durchgeführt werden. Neben den Einschränkungen der eigentlichen Ausführungen der Arbeiten verhinderten die Unsicherheiten in der Planung von öffentlichen und halböffentlichen Veranstaltungen im Beispielquartier eine adäquate Kompensation von verlorener Zeit oder verstrichener Zeitfenster. Andere Arbeitspakete wurden ebenso durch die Pandemie beeinflusst; diese konnten allerdings durch Nachsteuerungen bewältigt werden. Neben diesen unvorhergesehenen externen Einflüssen, sind im Konsortium Personalwechsel aufgetreten, welche ebenfalls den Projektablauf beeinflusst haben, jedoch bewältigt worden sind. Das Projekt wurde kostenneutral um 3 Monate verlängert, um es erfolgreich abzuschließen (30.06.2022, Gesamtprojektlauf-

zeit: 39 Monate). Die Ergebnisse wurden durch die Erfüllung folgender Teilziele erreicht:

- Ermittlung der Grundlagen, Entwurf des Gesamtkonzepts, Definition nachhaltiger Stadtraumtypen (AP 2)
- Identifizierung und Auswahl von Indikatoren (AP 2)
- Identifizierung von Systemgrenzen und relevanten (Teil-)Ressourcen (AP 2)
- Identifizierung der relevanten Akteure, ihrer Motive und Hemmnisse (AP 2)
- Datenerhebung zur Beschreibung des Ist-Zustands und Datenhaltung (AP 3)
- Tiefenrecherche zu Ressourceneffizienzmaßnahmen (AP 3)
- Datenbankaufbau (AP 3)
- Datenerhebung/Befragung Akteure und Kleingruppenworkshops (AP 4; wurde nur teilweise durchgeführt)
- Modellkonzeption und -entwicklung (insb. Backend) (AP 5)
- Modellintegration und Webtoolentwicklung (insb. Frontend) (AP 6)
- Definition von Szenarien für Berechnungen und Analysen (AP 7)
- Berechnung, Analyse und Darstellung der Ergebnisse (AP 8)
- Test des entwickelten Tools (AP 9)
- Ableitung von Handlungsempfehlungen und Dokumentation der Ergebnisse (AP 10)
- Erstellung von Leitfäden für kommunale Akteure (AP 11)

Im Rahmen der Begleitforschung wurden folgende Kooperationen durchgeführt: RES:Z Indikatoren, RES:Z Digitalisierung und Webtools, RES:Z Transfer, RES:Z Lernmodul. Darüber hinaus engagierten sich Prof. Dr.-Ing. Thomas Lützkendorf und PD Dr.-Ing. Rebekka Volk als Gast-Editoren des Special Issues „Resource Management in Urban Districts – a Contribution to Sustainable Urban Development“ der wissenschaftlichen Zeitschrift „Sustainability“ des MDPI Verlags und trugen damit maßgeblich zur Verbreitung der dort veröffentlichten Ergebnisse aus den RES:Z-Projekten in der Scientific Community bei.

2 Kurzdarstellung

Im Folgenden werden die einzelnen Aufgaben- und Bearbeitungspakete der beteiligten Forschungspartner in übersichtlicher Form dargestellt. Die Darstellungen beziehen sich größtenteils auf die geplanten Arbeiten laut Antrag und führen auf, welche Projektpartner in welchem Umfang für die Bearbeitung der jeweiligen Forschungsinhalte verantwortlich waren.

2.1 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine Grundlage zur Unterstützung einer nachhaltigen Stadtentwicklung (Konzepte, Planung, Umsetzung) als auch zur prozessbegleitenden Nachhaltigkeitsbewertung zu entwickeln und eine Erprobung auf Quartiersebene durchzuführen. Zu Erfüllung des Ziels sollte für den Akteur Stadt/Kommune ein integriertes Werkzeug zur Beschreibung der Bau- und Freiraumstruktur und Bewertung des Quartiers hinsichtlich der vorhandenen Ressourcen (Wasser, Fläche und Stoffströme in Gebäuden, Ver- und Entsorgungssystemen, Siedlungs-, Verkehrs-, Frei- und Grünflächen, vorhandene Ökosystemdienstleistungen) sowie zur Steuerung der Quartiersentwicklung konzipiert und entwickelt werden und dieses zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin sollte das Werkzeug zur Optimierung und Hebung der Potenziale zur nachhaltigen Gestaltung des Quartiers und zur Verbesserung des Wohlbefindens seiner Bewohner/-innen genutzt werden. Im Werkzeug sollten vorhandene Ressourcenbestände und -ströme (Wasser, Stoffströme) und Flächennutzung bilanziert sowie Maßnahmen bzw. -bündel zur Verbesserung der Ressourceneffizienz in spezifischen Rahmenbedingungen von Quartieren und Akteurskonstellationen bewertet werden. Des Weiteren sollten Akteure mit ihren Handlungsmotiven und -möglichkeiten untersucht werden, bereits existierende bzw. mögliche künftige Zielkonflikte der Akteure identifiziert sowie ressourceneffiziente Lösungsansätze simuliert und erprobt werden.

2.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Stadt- und Quartiersentwicklung ist eine der wichtigsten Säulen einer nachhaltigen Klima- und Energiepolitik. Städte und städtische Gebiete gehören sowohl zu den am stärksten betroffenen Gebieten als auch zu den Hauptentstehungsorten der Ursachen des globalen Wandels. Sie sind besonders von Klimaextremen betroffen, da die vom Menschen verursachten Emissionen und die Exposition negative Phänomene noch verstärken. Die Urbanisierung, der Klimawandel und die Ressourcenverknappung stellen globale Trends dar, die zu einem erhöhten gesellschaftlichen und umweltpolitischen Druck führen (werden), geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Diese Maßnahmen müssen nicht nur effektiv und nachhaltig im Hinblick auf die Abschwächung von negativen Phänomenen sein, sondern auch wirtschaftlich effizient, räumlich aufgelöst und sozial gerecht, sodass angesichts der begrenzten finanziellen Ressourcen der Städte und ihrer Interessengruppen ein klar definierter Nutzen für die lokale Klimaanpassung und den Klimaschutz erzielt wird. Naturbasierte Lösungen oder blau-grüne Infrastrukturen gelten als Schlüsselaspekte, um städtische Gebiete nachhaltiger, d. h. gesünder, biodiverser und attraktiver zu gestalten, und um Städte widerstandsfähiger gegenüber städtischen Wärmeinseleffekten, extremen Wetterbedingungen und dem Klimawandel zu machen [11, 12].

Aufgrund der beschriebenen Trends, des politischen, gesellschaftlichen Drucks und auf Basis einer sehr aktiven Forschungsgemeinschaft im Bereich der urbanen Nachhaltigkeit, ist der Innovationsgrad äußerst hoch und derzeitige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten entwickeln viele neue Ansätze, Verfahren und Erkenntnisse. Die durchgeführten Recherchen im Projekt liefern einen umfassenden und internationalen Überblick über die Methoden und Anwendungen zur Unterstützung einer nachhaltigen und ressourceneffizienten Stadt- und Quartiersentwicklung.

Im Rahmen des Projektes wurden die Recherchen im Beitrag „Urban Resource Assessment, Management, and Planning Tools for Land, Ecosystems, Urban Climate, Water, and Materials—A Review“ (Übersetzung: Bewertung, Management und Planungsinstrumente für städtische Ressourcen in den Bereichen Land, Ökosysteme, Stadtklima, Wasser und Materialien – ein Überblick) zusammengefasst und publiziert [3]. Dieser Beitrag geht auf die Art und Weise der Informationsaufbereitung, ihre zur Verfügungsstellung und unterstützende Werkzeuge zur Verwaltung von Maßnahmen zur Nachhaltigkeitssteigerung im urbanen Kontext ein. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass geografische Daten und deren digitale Verarbeitung die Art und Weise, wie Quartiere geplant, überwacht und verwaltet werden, maßgeblich beeinflussen [13]. Bisherige Überblicksartikel in diesem Bereich z. B. [12, 14, 15] konzentrierten sich auf die Frage, wie die vorhandenen Instrumente die Herausforderungen der Implementierung/Nutzung bewältigen können, anstatt ihre Fähigkeiten und Qualität im Detail zu bewerten. Im Projektverlauf wurden 51 Werkzeuge identifiziert, überprüft und hinsichtlich ihres Anwendungsbereichs klassifiziert. Wesentliche bewertete Merkmale sind ihre Fähigkeiten, ihre Typen und Technologie-Reifegrade, ihre Verfügbarkeit für Nutzer, die Skalen, die sie abdecken, und ihre Ausrichtung. Zum einen wurde ersichtlich, dass die meisten vorhandenen Arbeiten vom in der Praxis gelebten Bearbeitungsraster in der Stadt- und Quartiersentwicklung abweichen. Zum anderen wurde die Datenverfügbarkeit bei den Anwendenden (kommunalen Planer/-innen) und damit die Ausführbarkeit der Werkzeuge nicht in den Mittelpunkt gestellt. Weiterhin wurden deutliche Defizite und Lücken in der technischen, ökologischen und ökonomischen Bewertung festgestellt. Hinsichtlich der Projektziele und insbesondere der Entwicklung eines digitalen Entscheidungsunterstützungswerkzeuges bestätigten die Recherchen die Ausrichtung und die Zielstellung des Projekts.

Da das Untersuchungsgebiet im Projekt ein Sanierungsgebiet der Stadt Karlsruhe ist, waren die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung des Vorhabens sehr gut gegeben. Obwohl die vorgefundene Datenlage zum Untersuchungsgebiet umfangreich und hinreichend aktuell war, waren Nach-

erhebungen und Kompromisse notwendig. Beispielsweise führten datenschutzrechtliche Bedenken zu einer Zurückhaltung von vorhandenen Datensätzen (z. B. rechtliche Unsicherheiten bzgl. einer abweichenden Nutzung der Daten im Projektvorhaben zum ursprünglichen Erhebungsziel/-grund) oder Daten zu privaten Flächen/Grundstücken waren noch gar nicht erhoben. Letzteres betraf insbesondere die Vegetation auf privaten Flächen.

Für die Ausführung des Forschungsvorhabens haben die Projektpartner am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit dem Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), dem Fachgebiet Immobilienwirtschaft (FIWI/ÖÖW), dem Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW), AG Umweltmineralogie und Umweltsystemanalyse sowie dem Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (CMM) mit der Smart Geomatics Informationssysteme GmbH und der Stadt Karlsruhe kooperiert. Mit ihren komplementären Kompetenzen bilden sie ein Konsortium, das über ein umfangreiches Wissen, erforderliche Daten und Fähigkeiten zum Erreichen der Ziele verfügt.

Während der Projektlaufzeit verursachte die Covid-19-Pandemie Verzögerungen, welche größtenteils kompensiert werden konnten. Von Verzögerungen waren die Erhebungen und die Akteursarbeit im Quartier besonders betroffen. Die Biotoptypenkartierung und Baumkartierung im Sommer 2020 konnte erst deutlich später (im Juni statt im April) begonnen werden. Die Verschiebung der Datenaufnahme hatte keinen negativen Einfluss auf die angestrebten Projektergebnisse. Nicht zu bewältigen war die Auswirkung der Pandemie auf die geplanten Akteursbefragungen vor Ort in einem aktiv partizipativen Format. Diese Forschungslücke konnte unter den pandemischen Bedingungen nicht gefüllt werden.

2.2.1 KIT – Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)

Das Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) forscht unter anderem seit vielen Jahren in den Bereichen des nachhaltigen Bauens,

des selektiven Rückbaus und der Projektplanung bspw. in den BMBF-geförderten Projekten ResourceApp (FKZ 033R092C), MogaMaR (FKZ 02S9113A), NukPlaRStoR (FKZ 15S9414A), der Kreislaufwirtschaft von Baustoffen bspw. REPOST (FKZ 033R249B) sowie der Bewertung urbaner und industrieller Systeme. In diesem Zusammenhang wurden zum Beispiel Konzepte zu optimierten Rückbau- und Recyclingverfahren durch Kopplung von Gebäudedemontage und Baustoffaufbereitung entwickelt. Darüber hinaus wurde in einem Forschungsvorhaben ein Konzept zur Minimierung von Umweltbelastungen beim Rückbau von Hoch- und Tiefbauten durchgeführt. Das Institut führte und führt diverse Forschungsarbeiten zur nachhaltigen Entwicklung im Baubereich durch, wie etwa ein Simulationsmodell zur techno-ökonomischen Bewertung energetischer Gebäudesanierung, ein Energieleitplan für die Stadt Karlsruhe sowie auch Projekte zur Analyse und Entscheidungsunterstützung bei unsicheren Ereignissen. Das IIP besitzt demzufolge mit seinen 55 wissenschaftlichen Mitarbeitern die erforderliche Erfahrung und Leistungsfähigkeit für die gemeinsame Durchführung des Vorhabens sowie eine breite, für das Projekt relevante Wissensbasis in wirtschaftlichen und bautechnischen Themen, aus der es bei der Bearbeitung schöpfen konnte. Die Leitung dieses Forschungsprojekts lag beim IIP.

2.2.2 KIT – Fachgebiet Immobilienwirtschaft (FIWI/ÖÖW)

Das Fachgebiet Immobilienwirtschaft (FIWI) des KIT wurde im Projekt durch den Lehrstuhl Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus (ÖÖW) vertreten. Der Lehrstuhl vertritt in Lehre und Forschung die Umsetzung von Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung in der Bau-, Wohnungs- und Immobilienwirtschaft. Es liegen besondere Erfahrungen im Bereich der Entwicklung, Interpretation und Nutzung von Indikatoren vor, die zu offenen Sets oder geschlossenen Systemen zusammengefasst werden können. FIWI/ÖÖW beteiligte sich an der Erarbeitung, Erprobung, Anwendung und Weiterentwicklung von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen, insbesondere für Wohn- und Nichtwohnbauten, teilweise auch für die Weiterentwicklung bestehender Quartiere. Der Leiter des Lehrstuhls ist als Obmann beim DIN zuständig für die Koordination deut-

scher Beiträge zur internationalen und europäischen Normung mit einem Schwerpunkt Ökobilanzierung und Indikatorenentwicklung. Er ist als Gründungsmitglied der internationalen Initiative für eine nachhaltig gebaute Umwelt (iiSBE) an der Vorbereitung und Durchführung von wissenschaftlichen Veranstaltungen zum nachhaltigen Bauen und zur nachhaltigen Quartiers- und Stadtentwicklung beteiligt, die weltweit stattfinden. Im Forschungsprojekt wurden durch FIWI/ÖÖW Themen der Entwicklung und Anwendung von Indikatoren sowie der Integration von Bewertungsergebnissen in Planungs- und Entscheidungsprozessen bearbeitet und in methodischen Fragen unterstützt.

2.2.3 KIT – Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)

Das Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW) in der Arbeitsgruppe Umweltmineralogie und Umweltsystemanalyse beschäftigt sich mit Stoffflüssen in den Umweltmedien Boden, Wasser und Luft sowie dem Übergang in pflanzliche Organismen, mit der Stadtökologie, Flächenbewertung und Ökosystemdienstleistungen. Die Arbeitsgruppe befasst sich mit Umweltmonitoring und dem Systemverständnis in verschiedensten Bereichen der Geowissenschaften sowie Geoökologie. Außerdem besitzt die Arbeitsgruppe eine ausgezeichnete Labor- und Feldausstattung inklusive Methodenentwicklung. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die Feststoff-, Wasser- und Pflanzenanalytik. Das AGW in der Arbeitsgruppe Umweltmineralogie und Umweltsystemanalyse besitzt umfangreiche fachliche und methodische Kompetenzen im Bereich der Stadtökologie. Im Rahmen des Forschungsprojektes NaMaRes konnten diese in Bezug auf die Erfassung und Analyse von Ökosystemdienstleistungen in der Innenstadt Ost in Karlsruhe eingesetzt werden.

2.2.4 KIT – Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (CMM)

Das Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (CMM) beschäftigt sich mit der Untersuchung von feuchteinduzierten und -gesteuerten Prozessen in aquati-

schen und mineralischen Systemen auf der Basis einer fundierten Materialcharakterisierung und der Weiterentwicklung von Feuchtemesstechnik. Dabei wird es durch einen wissenschaftlichen Beirat unterstützt, mit dem das CMM gemeinsam neue Herausforderungen sowohl in der Grundlagenforschung bzgl. Interaktion von porösen Materialien mit Wasser als auch in der Anwendung der Feuchtemesstechnik identifiziert. Die Bearbeitung dieser Themen erfordert regelmäßig eine interdisziplinäre Zusammenarbeit nicht nur mit Universitäten und Forschungseinrichtungen, sondern auch mit der Industrie und öffentlichen Verwaltungseinrichtungen. Das CMM hat weitreichende Kompetenz im Bereich Stoffstrom-Management, insbesondere in der Abfallwirtschaft. Es berät Gebietskörperschaften zur Abfallinfrastruktur und deren betrieblichen Optimierungen (z. B. Neuinstallation von Entsorgungssystemen). Aufgaben sind, neben der strategischen und technischen Begleitung der Stilllegung der Abfalldeponien, die Konzeption zur Einführung der behältergebundenen Abfallsammlung anstelle einer Pneumatischen Abfallabsauganlage (PME). Aufgaben für das CMM waren die Entwicklung der Umsetzungsstrategie, grundstückscharfe Lösungsansätze zur Einrichtung von Behälterstandplätzen, die Kommunikation mit den Anwohnern und die Implementierung der Entsorgung in die bestehenden Abhol-/Entsorgungsroutinen.

2.2.5 Smart Geomatics Informationssysteme GmbH

Smart Geomatics Informationssysteme GmbH (Smart Geomatics) verfügt als Unternehmen aus der Geoinformatik über eine große Expertise und langjährige Erfahrung in der Konzeption und iterativen Umsetzung von webbasierten Anwendungen im Bereich Energieplanung, -analyse und Geodatentechnologien. Die benutzerfreundliche Bedienbarkeit von webbasierten Anwendungen und Werkzeugen sowie die verständliche Visualisierung der Inhalte stellen eine weitere Kernkompetenz dar. Die technologische Basis stellt die Energieplanungssoftware smart2Energy Web dar. Die Anwendung, Datenbankarchitektur, Konzipierung der einzelnen Module, Berechnungsalgorithmen, Frontenddesign, sowie das User-Interface wurden von Smart Geomatics entwickelt und programmiert. In direkter Absprache mit Akteuren wie Umwelt- und

Energieagenturen, Kommunalverwaltungen und Fachplanern wurde eine ganzheitliche Energieplanungs-Anwendung entwickelt, mit der viele Anwender/-innen strukturiert und maßnahmenorientiert arbeiten. Der modulare Aufbau unterstützt die Nutzer/-innen bei der initialen Datenerfassung, bei Bestands- und Potenzialanalysen, bei Gebietsauswertungen und der Dokumentation von Umsetzungsmaßnahmen. Folgende Kurzbeschreibungen von aktuellen und bereits durchgeführten Projekten sollen dafür als Referenz dienen: Seit 2013 konnte Smart Geomatics 28 interaktive Solarkataster und 11 Wärmekataster erstellen. Ferner wurden mit smart2Energy Web bis dato 13 kommunale und regionale Energieleitpläne, 5 Klimaschutzkonzepte und über 20 integrierte Quartierskonzepte realisiert. Im Zuge der Novelle des Klimaschutzgesetzes arbeitet Smart Geomatics an mehreren kommunalen Wärmeplanungen, u. a. dem Wärmeplan der Stadt Karlsruhe im Zuge des Karlsruher Energieleitplans, dessen Erstellung sich aktuell in der finalen Projektphase befindet.

2.2.6 Stadt Karlsruhe

Umwelt und Arbeitsschutz: Der Umwelt- und Arbeitsschutz der Stadt Karlsruhe ist die Fachkompetenzstelle der Stadtverwaltung für alle Themen des Umwelt- und Naturschutzes. Hierzu gehören alle Umweltmedien (Boden, Wasser, Luft, Natur), Klimaschutz und Klimaanpassung, Immissionsschutz, Arbeitsschutz, umweltfreundliche und faire Beschaffung sowie Förderung der Nachhaltigkeit und Resilienz. Des Weiteren auch die Zusammenarbeit und Unterstützung des ehrenamtlichen Engagements (z. B. Lokale Agenda, Grüne Stadt), der Umweltbildung und der kommunalen Gesundheitsvorsorge. **Stadtplanungsamt:** Das Stadtplanungsamt Karlsruhe ist für die räumliche Entwicklung der Gemeinde zuständig. Die öffentlichen, raumbezogenen und integrativen Aufgaben des Stadtplanungsamts umfassen: die Generalplanung und Stadtsanierung, den Städtebau und die Bauleitplanung, die Gestaltung des öffentlichen Raums, die Pflege des Stadtbilds und der Stadtbaukultur, die Verkehrsplanung, die Bürgerbeteiligung in Planungsprozessen und die Bera-

tung bei Bauprojekten, sowie städtebauliche Wettbewerbe und die Entwicklung von städtebaulichen Konzepten und Rahmenplanungen.

Das Stadtplanungsamt Karlsruhe verfolgt das Ziel der „nachhaltigen Stadtentwicklung“ mit integrativen Konzepten eines nachhaltigen Städtebaus, der auch Klimaschutz und Klimaanpassung umfasst. Die Fachdisziplinen übergreifende Zusammenarbeit mit anderen Ämtern und Behörden ist dafür eine Voraussetzung zur Lösung komplexer Fragestellungen der räumlichen Planung.

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Nachfolgend wird ein Überblick über die am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), dem Fachgebiet Immobilienwirtschaft (FIWI/ÖÖW), dem Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW), AG Umweltmineralogie und Umweltsystemanalyse sowie dem Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (CMM) mit der Smart Geomatics Informationssysteme GmbH und der Stadt Karlsruhe bearbeiteten Arbeitspakete gegeben. Hierbei werden die zu erbringenden Leistungen laut Projektantrag vorgestellt. Eine Darstellung der ausgeführten Arbeiten sind in Kapitel 3 aufgeführt.

2.3.1 Planung

Das Forschungsvorhaben wurde von den o. g. Kooperationspartnern in 11 Arbeitspaketen durchgeführt (vgl. Abbildung 1 und Tabelle 1). Im Folgenden werden die in den Arbeitspaketen geplanten Aktivitäten in kurzer Form zusammengefasst.

Die Fördermaßnahme sieht eine Anschlussförderung des Projektes in Form einer zweiten Phase vor. Die Arbeitspakete (AP) 1–11 entsprechend der Phase 1.

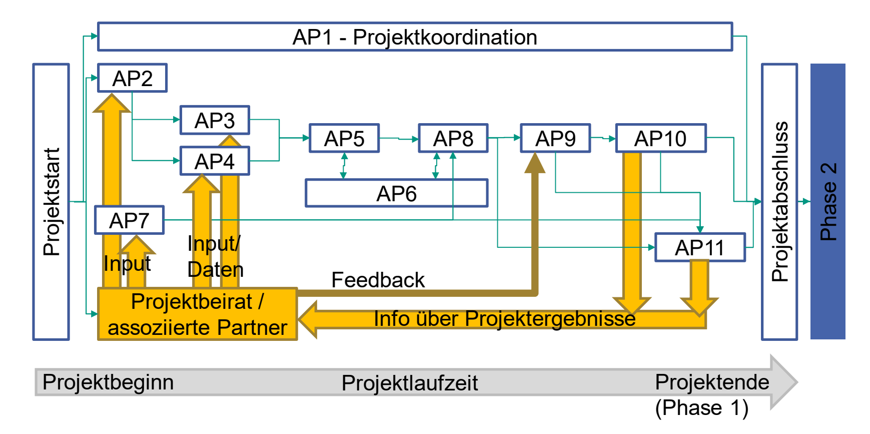


Abbildung 1: Arbeitspakete des Vorhabens und deren Vernetzung.

Tabelle 1: Liste der Arbeitspakete.

AP-Nr.	Name des Arbeitspaktes (AP)	Verantwortlich
AP1	Koordination des Projekts	KIT
AP2	Vorstudie, Grundlagen/Gesamtkonzept, Indikatorentwicklung und -definition auf Quartiersebene, Ermittlung des Datenbedarfs	KIT
AP3	Datenerhebung und Datenanalyse im Quartier (Gebäude/Infrastruktur), Tiefenrecherche zu Ressourceneffizienzmaßnahmen, Typologisierung	KIT
AP4	Datenerhebung und Datenanalyse bei den Akteuren, Typologisierung	KIT
AP5	Modellierung eines Werkzeugs NaMaResQ zur quartiersbezogenen Informationsaufbereitung und ressourcensteigernden Entscheidungsunterstützung	KIT
AP6	Implementierung einer Benutzeroberfläche für Quartiersmanager und Bürger zur Informationsaufbereitung, Monitoring und Entscheidungsunterstützung	Smart Geomatics
AP7	Entwicklung von gesamtstädtischen, ökologischen, techno-ökonomischen und politischen Szenarien	KIT
AP8	Berechnung quartierbezogener Ressourceneffizienzindikatoren und Entwicklungspfade, ggf. Optimierung der Ressourceneffizienzindikatoren des Quartiers	KIT
AP9	Test des entwickelten Werkzeugs im Karlsruher Quartier Innenstadt Ost	Smart Geomatics, KIT
AP10	Auswertung der Ergebnisse aus AP8 und Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen für kommunale Entscheider im Quartier Innenstadt Ost	KIT
AP11	Erarbeitung eines Leitfadens für kommunale Entscheider	KIT

AP1 „Koordination des Projekts“ sollte die Organisation des Projekts, die Kontrolle und Einhaltung der Projektmeilensteine und Projektziele, die Organisation und Durchführung von Projekttreffen, die Koordination des Berichtswesens und der Außenkommunikation und die Unterstützung der integrativen und evaluierenden Maßnahmen des BMBF umfassen.

Im Rahmen von AP2 „Vorstudie, Grundlagen/Gesamtkonzept, Indikatorentwicklung und -definition auf Quartiersebene, Ermittlung des Datenbedarfs“

sollten die Grundlagen und (Daten-) Lücken für die Durchführung des Projekts ermittelt und analysiert werden. Diese sollten Vorstudien, Konzepte, die Indikatorik und den Datenbedarf umfassen. Zudem sollte es die Grundlagen für eines der drei Hauptprodukte des Projektes legen, nämlich das methodische Ziel „Indikatorik zur Ressourceneffizienz auf Quartiersebene".

In AP3 „Datenerhebung und Datenanalyse im Quartier (Gebäude/Infrastruktur), Tiefenrecherche zu Ressourceneffizienzmaßnahmen, Typologisierung" sollten umfassende Datenerhebungen im Untersuchungsquartier und Recherchen stattfinden. Diese sollten neben georeferenzierten Daten auch Daten zu Ressourcenschutzmaßnahmen beinhalten. Zusätzlich sollte dieses Arbeitspaket die Grundlagen und Datenbankanforderungen für die Umsetzung des zu erstellenden digitalen Werkzeugs bestimmen.

In AP4 „Datenerhebung und Datenanalyse bei den Akteuren, Typologisierung" sollten die Ziele, Motive, Verfügungsrechte, Präferenzen und Entscheidungsverhalten der Akteure im Quartier erhoben und analysiert werden. Des Weiteren sollten für eine Integration von Akteurscharakteristika in dem digitalen Entscheidungsunterstützungswerkzeug der Datenbedarf und die Datenstruktur bestimmt werden.

Im Rahmen von AP5 „Modellierung eines Werkzeugs NaMaResQ zur quartiersbezogenen Informationsaufbereitung und ressourcensteigernden Entscheidungsunterstützung" sollte die Konzeption und Umsetzung der Modellierung des digitalen Entscheidungsunterstützungswerkzeugs durchgeführt werden. Dieses Werkzeug sollte georeferenziert und in einem geeigneten Bearbeitungsraster die entwickelten Indikatoren und Ressourcenschutzmaßnahmen abbilden können. Basis für dieses Modell sollten die Erkenntnisse aus den vorherigen Arbeitspaketen und die Anforderung der Praxispartner sein. Dieses AP sollte die Grundlagen für eines der drei Hauptprodukte des Projektes legen und die Umsetzung umfassen, nämlich das anwendungsorientierte „Werkzeug zur quartiersbezogenen Informationsaufbereitung und ressourceneffizienzsteigernden Entscheidungsunterstützung für kommunale Entscheider und zur Information/Interaktion der Bürger".

AP6 „Implementierung einer Benutzeroberfläche für Quartiersmanager und Bürger zur Informationsaufbereitung, Monitoring und Entscheidungsunterstützung“ sollte die benutzerfreundliche Funktionalität des digitalen Entscheidungsunterstützungswerkzeugs sichern. Die Benutzeroberfläche sollte die intuitive Bedienung erlauben und die übersichtliche und sinnvolle Visualisierung von Ergebnissen für die jeweiligen Nutzergruppen ermöglichen.

In AP7 „Entwicklung von gesamtstädtischen, ökologischen, techno-ökonomischen und politischen Szenarien“ sollten aus den gemeinsamen Arbeitssitzungen sowie Recherchen Szenarien entwickelt werden. Diese sollten für die Empfehlungen den entsprechenden Handlungsrahmen festlegen.

Im Rahmen von AP8 „Berechnung quartiersbezogener Ressourceneffizienzindikatoren und Entwicklungspfade, ggf. Optimierung der Ressourceneffizienzindikatoren des Quartiers“ sollten die Ressourceneffizienzmaßnahmen und deren Auswirkungen berechnet werden. Diese Berechnungen sollten die jeweiligen Potenziale aufzeigen und quantitativ vergleichbar machen.

AP9 „Test des entwickelten Werkzeugs im Karlsruher Quartier Innenstadt Ost“ sollte die langfristige und operative Anwendung des digitalen Entscheidungsunterstützungswerkzeugs im Bestandsquartier testen und Schwachstellen des Werkzeugs aufzeigen.

Im Rahmen von AP10 „Auswertung der Ergebnisse aus AP8 und Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen für kommunale Entscheider im Quartier Innenstadt Ost“ sollten die Modellergebnisse analysiert und konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

In AP11 „Erarbeitung eines Leitfadens für kommunale Entscheider“ sollten die Grundprinzipien der nachhaltigen Quartiersentwicklung und die beteiligten Managementprozesse erörtert und zusammengetragen. Dies sollte eins der drei Hauptprodukte des Projektes bilden. Des Weiteren sollten in dem Ar-

beitspaket die drei Hauptprodukte entsprechend öffentlich bekannt gemacht werden.

Das beantragte Vorhaben für die Verstetigung (Phase 2) wurde bewilligt und im Sommer 2022 begonnen. Die angestrebte Verlängerung der Finanzierung wird zur Verstetigung der Projektergebnisse genutzt.

2.3.2 Ablauf

Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, erfolgte die Bearbeitung des Forschungsvorhabens in 11 Arbeitspaketen, inklusive der Einreichung eines Antrags für eine zweite und anschließenden Förderphase. Zu Projektbeginn wurde mit einer Gesamtdauer von 3 Jahren geplant. Projektstart war der 01.04.2019 und das geplantes Projektende der 31.03.2022. Die meisten geplanten Arbeitspakete wurden in der geplanten Zeit erfolgreich bearbeitet und abgeschlossen. Arbeiten in den Arbeitspaketen mit vorgesehenen Begehungen im Untersuchungsgebiet, Öffentlichkeitsarbeit und einer Einbindung von privaten, kommunalen und gewerblichen Eigentümer/-innen waren durch die Covid-19-Pandemie von Verzögerungen betroffen oder konnten nicht im geplanten Umfang durchgeführt werden. Neben den Einschränkungen der eigentlichen Ausführungen der Arbeiten verhinderten die Unsicherheiten in der Planung von öffentlichen und halböffentlichen Veranstaltungen im Quartier eine adäquate Kompensation von verlorener Zeit oder verstrichener Zeitfenster. Andere Arbeitspakete wurden ebenso durch Auswirkungen der Pandemie beeinflusst; diese konnten durch Nachsteuerungen bewältigt werden. Neben diesen unvorhergesehenen externen Einflüssen sind im Konsortium Personalwechsel aufgetreten, welche ebenfalls den Projektablauf beeinflusst haben, jedoch inhaltlich bewältigt worden sind. Diese Umstände und Unterbrechungen nahmen im Projektplan nicht vorgesehene Zeit in Anspruch. In Absprache mit dem Projektträger wurde daher das Projekt kostenneutral um 3 Monate verlängert, um es erfolgreich abzuschließen. Insgesamt ergab sich eine Gesamtprojektlaufzeit von 39 Monaten (vgl. Abbildung 2).

Federführend und verantwortlich für die meisten Arbeitspakete war das IIP im Rahmen der Projektleitung. Projekttreffen zur detaillierten Aufgabenverteilung, zur Besprechung von Arbeitsergebnissen und zur Information der Projektpartner wurden in einem zwei- bis dreimonatlichen Turnus durchgeführt, flankiert von zahlreichen kleineren bilateralen Arbeitstreffen. Halbjährlich wurden Zwischenberichte mit dem jeweils aktuellen Projektstand erstellt und dem Projektträger vorgelegt. Zum Projektabschluss wurde der vorliegende, umfassende Schlussbericht mit den erarbeiteten Projektergebnissen verfasst und dem Projektträger fristgerecht übergeben.

Für eine zweite und anschließende Förderphase wurde eine Skizze und ein Antrag eingereicht („Urbanes Ressourcenmanagement im Quartier“; Akronym: „namares 2.0“), welche auch erfolgreich war. Das bewilligte Projekt startete im Sommer 2022 und hat eine Laufzeit von 2 Jahren.

Projektmonat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	+1	+2	+3	
Jahr	2019									2020												2021												2022						
Arbeitspaket	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Hauptverantw.
AP 1	A	Z1																	Z2			Z2																Z3	Q	KIT/IIP
AP 2						C																																		KIT/FIWI
AP 3							D1					E1																												KIT/IIP
AP 4							D2					E2																												KIT/CMM + KIT/IIP
AP 5											F														H1a										H1b					KIT/IIP
AP 6												G																H2a									H2b			smartgeomatics
AP 7																								B				K												KIT/IIP
AP 8																													L			M								KIT/IIP
AP 9																																	N				O			smartgeomatics + KIT/IIP
AP 10																																		P					Q	KIT/IIP
AP 11																					I			J															R	KIT/FIWI

Meilensteine

- **A** Projektbeginn, Kickoff-Treffen
- **B** Abschluss des Szenariendesigns
- **C** Fertigstellung der Vorstudie/konzeptionellen Grundlagen
- **D** Beginn der Datenerhebung: Quartier (D1) + Akteure(D2)
- **E** Ende der Datenerhebung: Quartier (E1) + Akteure (E2)
- **F** Modellkonzept, Beginn der Modellierung des Informations-/Entscheidungsunterstützungswerkzeugs
- **G** Beginn der Programmierung der Webapplikation
- **H** Beta-Version des zu entwickelnden Werkzeugs: Modell (H1), Benutzeroberfläche (H2)
- **I** Beginn Strukturierung / Konzeption des Leitfadens
- **J** Beginn des Verfassens des Leifadens
- **K** Aktualisierung und Fertigstellung der Szenarien
- **L** Beginn Simulation und Berechnung der Szenarien
- **M** Vorstellung und Diskussion der Berechnungsergebnisse
- **N** Beginn der Werkzeugtests
- **O** Release Candidate-Version des Werkzeugs steht zur Verfügung
- **P** Beginn Auswertung der Ergebnisse
- **Q** Abgeschlossene Auswertung von AP8, Abgeleitete Handlungsempfehlungen
- **R** F&E-Projektende, Fertigstellung des Leifadens, Start der Umsetzung- und Erprobungsphase im Projektquartier

- **Z1** Offizieller Projekt-Kickoff (festgelegt durch Projektträger)
- **Z2** Statusseminar (festgelegt durch Projektträger)
- **Z3** Offizielle Abschlussveranstaltung (festgelegt durch Projektträger)

- Originäre Planung
- Verlängerte Bearbeitung
- Angepasste Planung (auch aufgrund von COVID19)

Abbildung 2: Detaillierte Darstellung der zeitlichen Ausführung des Forschungsprojekts NaMaRes.

2.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

In der kommunalen Planungspraxis zur Planung und nachhaltigen Entwicklung von urbanen Gebieten können im Neubaubereich nach jetzigem Stand der Wissenschaft und Technik die im Projekt betrachteten Ressourcenfelder (Stoff, Fläche, Wasser) bereits mit den vorhandenen Planungsinstrumenten und -konzepten adressiert werden. Das wichtigste formelle Planungsinstrument für die Stadtentwicklung ist die Bauleitplanung, die im Baugesetzbuch geregelt wird. Trotz der Berücksichtigung von Klima- und Naturschutzaspekten in der Bauleitplanung wird infrage gestellt, wie effektiv dieses Instrument in Bezug auf die nachhaltige Stadtentwicklung wirkt [1]. Insbesondere, da sich die Bauleitplanung auf die Erschließung des städtischen Außenbereichs fokussiert.

Bezüglich des Handlungsfelds der nachhaltigkeitsorientierten Weiterentwicklung bestehender Quartiere ergeben sich verschiedene Hemmnisse und Herausforderungen. Im Wesentlichen sind diese durch die historisch gewachsenen Bau-, Sozial- und Eigentümerstrukturen des jeweiligen Bestandsquartiers bestimmt. Hier bieten die meisten verfügbaren und eingesetzten Werkzeuge wenig Unterstützung bei der Planung und Entscheidungsunterstützung und können die Anforderung für eine datenbasierte und handlungsorientierte Bewertung schwieriger erfüllen. Somit werden viele Nachhaltigkeitsaspekte nicht hinreichend berücksichtigt, da der Planungs- und Durchführungsaufwand sehr hoch ist und die beteiligten Verwaltungen über wenig freie Kapazitäten verfügen, um derartige zusätzliche Aufgaben zu übernehmen. Daher werden Nachhaltigkeitsmaßnahmen schlechter erfasst oder bewertet und somit Potenziale nicht methodisch identifiziert und angegangen. Dieses trifft insbesondere für mittlere und kleine Kommunen/Städte zu [2]. Der Einsatz von digitalen Entscheidungsunterstützungsinstrumenten mit integrierter quantitativer Bewertung von Interventionsmaßnahmen der nachhaltigen Stadtentwicklung bietet sich an und kann die formellen Instrumente ergänzen.

Eine Analyse von über 50 digitalen Werkzeugen verschiedener Marktreifegrade bestätigte die Notwendigkeit der Entwicklung eines eigenen Ansatzes. Dieser ist für die Beschreibung der Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand in ein Back-End und Front-End zu unterscheiden.

Für das Front-End und die Benutzeroberfläche wurde teilweise auf Vorarbeiten von Smart Geomatics aufgesetzt. Wie unter 2.2.5 bereits dargestellt, stellt Smart Geomatics seinen Kund/-innen die integrierte Webanwendung smart2Energy Web als modulares Informationssystem zur Erfassung, Auswertung, Darstellung und Dokumentation landkreisweiter und kommunaler Energie- und Klimaprojekte zur Verfügung. Nach eingehender Prüfung wurde eine NaMaRes-Integration in die bestehende Webanwendung smart2Energy Web jedoch als nicht zielführend bewertet. Die Umsetzung erfolgte in Form einer für NaMaRes neu entwickelten Webanwendung, um den spezifischen Anforderungen (u. a. neuartige Anwendungsgebiete Stoffe, Wasser, Fläche) gerecht zu werden und das Front-End möglichst flexibel entwickeln zu können, es auf NaMaRes maßzuschneidern und nicht inhaltlich zu überfrachten. Die Anwendung basiert auf dem bewährten Zusammenspiel von zeitgemäßer Open-Source-Webtechnologien, die unter 3.1.7.1 detailliert beschrieben sind.

Für das Back-End musste eine komplette Neuentwicklung durchgeführt werden. Diese umfasst die Datenbereinigung, den Datenimport, die Modellierung der Datenbank für die Datenspeicherung, sowie die Modellierung der Datenverarbeitung (Bewertung des Ausgangszustands und von Interventionsmaßnahmen). Für die Datenbank wurde eine allgemeine, handhabbare und kommerziell nutzbare Infrastruktur aufgebaut. Die verwendete Infrastruktur wurde entsprechend der Praxiserfahrungen von Smart Geomatics und der Modellanforderung des IIP ausgewählt. Diese Infrastruktur baut auf PostgreSQL und der PostGIS Erweiterung auf. Zusätzlich zu dieser war weitere Software notwendig, welche die neuartigen Teile adressieren: 3DCityDB Importer Exporter und FZKViewer. Die Modellierung der Interventionsmaßnahmen wurde in SQL und somit in kompatibler Skriptsprache ausgeführt, womit die Nutzbarkeit gesichert wurde.

Für die Modellierung der Quantifizierungs- und Bewertungslogik konnte an Vorarbeiten und vorhandener Literatur angeknüpft werden. Jedoch waren Erweiterungen oder Weiterentwicklungen notwendig. Die Rolle der wissenschaftlichen Literatur in der Bewertung von Ausgangszuständen und Wirkung von Interventionsmaßnahmen war zentral für den Erfolg des Projektvorhabens, da die meisten praxisnahen und vorzufindenden Ansätze nicht die notwendige Granularität und Bearbeitungsraster abbildeten.

Für den Einsatzrahmen eines Entscheidungsunterstützungswerkzeugs konnte auf Praxiserfahrungen im Projektkonsortium zurückgegriffen werden. Des Weiteren konnte die vorhandene Literatur generelle Rahmenbedingungen abdecken. Einen umfangreichen Überblick zum Status quo über ordnungsrechtliche und regulatorische Aspekte lieferten mehrere Studien und Leitfäden zu einzelnen Ländern (z. B. Bayern [16]). Ein ausführlicher Überblick auf nationaler Ebene wird im Abschlussbericht „Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung“ gegeben [17]. Die in diesen Berichten hervorgebrachten Hemmnisse, Defizite und Chancen, hängen auch mit der Entscheidungsvorbereitung und der Integration von Lösungsvorschlägen in die Entscheidungsprozesse zusammen. Ein dort genannter Aspekt, der in den aktuellen Entscheidungsunterstützungswerkzeugen so gut wie gar nicht berücksichtigt wird, ist die Bewertung von Förderinstrumenten sowie die Abschätzung der Wirkung von verschiedenen Förderdesigns. Deshalb ist die Entwicklung von Werkzeugen mit diesen Fähigkeiten, insbesondere der ökonomischen Bewertung, notwendig und wurde in diesem Projekt durchgeführt.

Hinsichtlich der technischen und ökologischen Bewertung des Ausgangszustands eines Quartiers und von Interventionsmaßen existieren gute Grundlagen, an denen das Projektvorhaben anknüpfen konnte. Im Allgemeinen sind keine direkten und einheitlichen Konventionen gegeben (z. B. zur Datenspeicherung oder Bilanzierung), weshalb die Anwendung dieser Grundlagen entsprechender Anpassungen und Auslegungen für die Untersuchungsziele eines Quartiers bedürfen. Beispielsweise existieren bei der Ermittlung und

Bewertung der Regenspende bereits gute Grundlagen, welche in der Planungspraxis angewendet werden und auch im Vorhaben Anwendung finden (z. B. [10, 18]). Wohingegen für eine der Kernbewertungen, nämlich die tatsächliche Versiegelung des Bodens, verschiedene nicht direkt vergleichbare Ansätze existieren. Die tatsächliche Versiegelung ist schwierig zu bestimmen und die meisten politischen Ziele basieren auf statistischen Abschätzungen und nicht auf tatsächlich gemessenen Werten. Im Gegensatz zur umweltrechtlichen Rechnung der Länder verwendet das Vorhaben Richtlinien zur Bewertung der Abflusswirksamkeit verschiedener anthropogener Oberflächen zur Bewertung und Quantifizierung einer tatsächlichen Versiegelung. Technische Regeln zu den Interventionsmaßnahmen wurden aus Regelwerken und Leitfäden extrahiert (z. B. [9, 19]). Hinsichtlich der ökologischen Bewertung im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung kann auf Bewertungsschlüssel der verschiedenen Bundesländer zurückgegriffen werden (z. B. [20]). Jedoch weisen diese Bewertungsschlüssel Defizite bei der Bewertung von urbanen Quartieren auf. Daher durch Breunig [21] und durch das Vorhaben erweitert [8].

Für die ökonomische Bewertung des Ausgangszustands und der Verbesserungsmaßnahmen waren keine geeigneten Grundlagen vorhanden. Diese mussten durch das Vorhaben geschaffen werden [6].

Hinsichtlich der kommunalen Datenbestände musste festgestellt werden, dass die Verantwortung und Datenpflege an verschiedene Verwaltungen und Ämter gebunden war, weshalb die Datenaggregation erschwert ist. Hinsichtlich der Daten zu Flächen mit privater Eigentümerstruktur, muss mit Datenlücken gerechnet werden. Hierzu wurde für die Biotopkartierung privater Innenhöfe eine Kartierungsmethodik entwickelt und im Beispielquartier durchgeführt. Abfallwirtschaftliche Daten zeigten Schwächen hinsichtlich nicht kommunal organisierter Abfalldienstleistungen.

Im Bereich der Entwicklung und Anwendung von Indikatoren, Indikatorensets und Indikatorensystemen zur Unterstützung einer nachhaltigen Quartiersentwicklung konnte an diverse Ansätze und Erfahrungen angeknüpft werden. Seit

längerer Zeit sind Quartiere Gegenstand von Nachhaltigkeitssystemen, die sich aus der Beurteilung des Beitrags von Einzelbauwerken zur Betrachtung einer nachhaltigen Entwicklung weiterentwickelt haben. Gleichzeitig hat sich die Quartiersforschung zu einer Wissenschaftsdisziplin entwickelt. Gegenstand der Diskussion ist hier u. a. die Ausgestaltung geeigneter Systemgrenzen, mit der Erkenntnis, dass diese themenbezogen festgelegt werden sollten.

Zu den verbleibenden und identifizierten offenen Herausforderungen gehören (1) die geografische Lokalisierung der Aktivitäten zur Erfüllung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (englisch: Sustainable Development Goals, SDGs) in Form konkreter Interventionen, z. B. durch die Verwendung eines geodatenbasierten Ansatzes, der die Lokalisierung erleichtert [22]. Hierfür wären bestenfalls georeferenzierte echtzeitnahe Informationen erforderlich, um die Interventionen tatsächlich angemessen zu gestalten und die darauf basierende Planung sowie die Überwachung der Interventionen ebenfalls echtzeitnah zu ermöglichen. (2) Darüber hinaus sind die Ansätze zur Datenerfassung, -aktualisierung und -validierung mit einem hohen Aufwand verbunden. So müssen effiziente Erfassungs- und Aktualisierungsmethoden für die städtischen Daten entwickelt werden, die von städtischen Instrumenten (Schnittstellen- und Kompetenzentwicklung) gebraucht und genutzt werden, aber im Moment noch nicht in allen Gemeinden und Städten verfügbar sind oder derzeit aktualisiert werden. Darüber hinaus könnte die gemeinsame Nutzung von Daten innerhalb der städtischen Abteilungen oder mit anderen Behörden (z. B. aus der Region oder dem Bundesland) und die automatisierte Bild- oder Datenverarbeitung dazu beitragen, dies zu unterstützen. (3) Es werden Methoden und Werkzeuge benötigt, die das Datenmanagement und die Pflege/Aktualisierung der amtlichen städtischen Daten erleichtern, z. B. durch Automatisierung, die das Verwaltungspersonal entlastet, sodass es mehr Kapazitäten für Projekt- und Interventionsmanagement, Stakeholderkommunikation oder Beteiligungsprozesse gibt. (4) Für den Umgang mit datenbasierten Ansätzen ist die Verbesserung der Ausstattung, der interdisziplinären Kompetenzen und der Einbindung der Städte/Gemeinden und ihrer Planungsabteilungen erforderlich. Darüber hinaus wäre eine zentrale Klärung von

Fragen des Datenschutzes und des Eigentums an den Daten (z. B. zwischen städtischen Abteilungen) hilfreich, um Zweifel auszuräumen und Standards einzuführen. (5) Eine stärkere Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis würde dazu beitragen, gemeinsam Instrumente zu entwickeln, die auf die derzeitigen und zukünftigen Probleme und Herausforderungen von Stadtplanern eingehen. Dies würde zu einer höheren Nutzbarkeit und Praxistauglichkeit in der Stadtplanung und bei städtischen Transformationsprozessen führen, insbesondere mit sektorübergreifender Funktionalität, Unterstützung des Projekt-/Interventionsmanagements und Beteiligung von Interessengruppen. Dazu sollte auch die Entwicklung von Instrumenten gehören, die von den derzeitigen statischen oder Ein-Perioden-Bewertungen zu dynamischeren und echtzeitnahen Dashboards/Bewertungen, und von aggregierten Input-Output-Modellen oder Bestands- und Flussmodellen zu räumlich explizit und hoch aufgelösten Modellen auf der Grundlage realer städtischer Daten führen (siehe auch [23]).

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das beschriebene Forschungsprojekt wurde federführend vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ausgeführt. Das KIT wurde durch das Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), das Fachgebiet Immobilienwirtschaft (FIWI/ÖÖW), das Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW), AG Umweltmineralogie und Umweltsystemanalyse sowie das Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (CMM) vertreten. Die Projektleitung und hauptsächliche inhaltliche Projektbearbeitung am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) lag bei PD Dr. Rebekka Volk und M. Sc. Elias Naber.

Die Daten zur Projektausführung wurden von dem Praxispartner Stadt Karlsruhe zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden diese Daten, soweit es die vorliegenden Basisdaten zuließen, an die Anforderungen des KIT und Smart Geomatics angepasst und durch weitere Datenerhebungen

ergänzt. Informationen zu den einzelnen Projektpartnern sind den Abschnitten 2.2.1 bis 2.2.6 zu entnehmen.

Eine Zusammenarbeit mit weiteren Stellen fand im Rahmen des Projektes durch einen Austausch mit den Projektbeiräten (Haus & Grund KA, Volkswohnung GmbH, Bürgerverein Altstadt e. V., KEK – Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur GmbH, Stadtwerke Karlsruhe GmbH, KIT Zukunftscampus) sowie mit weiteren Ämtern der Stadt Karlsruhe (Tiefbauamt, Gartenbauamt, Liegenschaftsamt, Amt für Abfallwirtschaft) statt.

Sippel.Buff führte im Unterauftrag des KIT Workshops und Begehungen im Quartier Innenstadt-Ost durch, die allerdings bedingt durch die COVID-19-Pandemie nicht so häufig und umfangreich wie geplant durchgeführt werden konnten.

Im Rahmen der Begleitforschung wurden folgende Kooperationen durchgeführt:

- RES:Z Indikatoren
- RES:Z Digitalisierung und Webtools
- RES:Z Transfer
- RES:Z Lernmodul

Darüber hinaus engagierten sich Prof. Dr.-Ing. Thomas Lützkendorf und Dr.-Ing. Rebekka Volk als Gast-Editoren des Special Issues „Resource Management in Urban Districts – a Contribution to Sustainable Urban Development“ der wissenschaftlichen Zeitschrift „Sustainability“ des MDPI Verlags und trugen maßgeblich zu der Verbreitung der dort veröffentlichten Ergebnisse aus den RES:Z-Projekten bei. Diese Sonderausgabe konzentrierte sich auf die effiziente und effektive Verwaltung von Ressourcen in der bebauten Umwelt zu einer nachhaltigeren Entwicklung von Stadtquartieren. Zu den Ressourcen gehörten Energie, Wasser, Boden, Fläche und Flächennutzung, Stadtgrün und Materialien. Originäre Forschung über das Ressourcenmanagement in der bebauten Umwelt, über die Sharing Economy, zur Stadtentwicklung, zur Quantifizierung,

Überwachung und Optimierung der Ressourcennutzung und ihrer Auswirkungen, zu disruptiven Management- und Geschäftsmodellen und verwandten Themen waren willkommen. Darüber hinaus wurde die Überwachung von Luft, Wasser, Emissionen, Staub, Lärm, Schutt und Abfall sowie die Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen als Teil der nachhaltig bewirtschafteten städtischen Ressourcen berücksichtigt. Die Sonderausgabe lud zur Einreichung von Beiträgen zu drei Hauptthemen ein: (1) Grundlagen der städtischen Stoffstromanalyse und des Ressourcenmanagements (2) Ressourcenbewertung und (3) Strategien und Handlungsempfehlungen. In der Sonderausgabe konnten insgesamt neun wissenschaftlich begutachtete Veröffentlichungen im Open Access herausgebracht werden: [3, 6, 7, 24–29].

3 Eingehende Darstellung

Ausgehend von der geplanten Vorgehensweise aus Kapitel 2.3.1 wird im Folgenden auf die Ausführung des Projekts, die Projektergebnisse, deren Verwertungs- bzw. Verwendungsmöglichkeiten und die Verwendung der Mittel eingegangen.

3.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

In diesem Abschnitt werden zunächst das Ziel und die Teilziele des Forschungsprojekts nochmals zusammengefasst dargestellt und den Teilzielen die ausgeführten Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts sowie die dabei erzielten Forschungsergebnisse gegenübergestellt. Der Grad der Zielerreichung aller Teilziele wird zuletzt übersichtlich dargestellt.

3.1.1 Ziele des Vorhabens

Übergeordnetes Ziel des Forschungsvorhabens ist es, Grundlagen zur Unterstützung einer nachhaltigen Stadtentwicklung zu schaffen als auch eine prozessbegleitende Nachhaltigkeitsbewertung zu ermöglichen. Dies wird mit drei Hauptprodukten erreicht (siehe

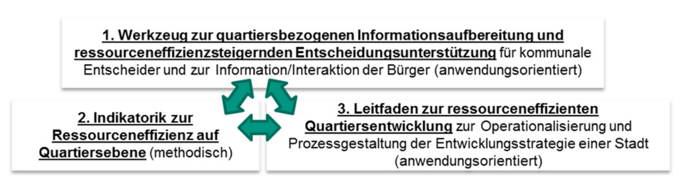


Abbildung 3: Hauptprodukte des Projekts.

Bei diesem übergeordneten Ziel ergeben sich folgende Teilziele:

- Ermittlung der Grundlagen, Entwurf des Gesamtkonzepts, Definition nachhaltiger Stadtraumtypen (AP 2)
- Identifizierung und Auswahl von Indikatoren (AP 2)
- Identifizierung von Systemgrenzen und relevanten (Teil-)Ressourcen (AP 2)
- Identifizierung der relevanten Akteure, ihrer Motive und Hemmnisse (AP 2)
- Datenerhebung zur Beschreibung des Ist-Zustands und Datenhaltung (AP 3)
- Tiefenrecherche zu Ressourceneffizienzmaßnahmen (AP 3)
- Datenbankaufbau (AP 3)
- Datenerhebung/Befragung Akteure und Kleingruppenworkshops (AP 4)
- Modellkonzeption und -entwicklung (hauptsächlich Backend) (AP 5)
- Modellintegration und Webtoolentwicklung (hauptsächlich Frontend) (AP 6)
- Definition von Szenarien für Berechnungen und Analysen (AP 7)
- Berechnung, Analyse und Darstellung der Ergebnisse (AP 8)
- Test des entwickelten Tools (AP 9)
- Ableitung von Handlungsempfehlungen und Dokumentation der Ergebnisse (AP 10)
- Erstellung von Leitfäden für kommunale Akteure (AP 11)

3.1.2 Koordination des Projektes (AP 1)

Die folgenden Beschreibungen sind gemäß dem Antrag thematisch gruppiert und es wird auf die einzelnen Arbeitsgebiete und Arbeitspakete eingegangen.

3.1.2.1 Projektorganisation und -controlling

Über die gesamte Laufzeit sicherte AP 1 die operative Projektkoordination. Hierzu gehörte die Organisation regelmäßiger Projekttreffen, auch mit dem

Projektbeirat, und die Dokumentation (Zwischen- und Endberichte, AP 1.2). Des Weiteren wurden der Informationsfluss zur Projektträgerschaft sowie die Beteiligung an der wissenschaftlichen Begleitforschung und die Vernetzung innerhalb des Forschungsprogrammes RES:Z sichergestellt (AP 1.2, Lenkungskreise, Querschnittsbeteiligungen etc.). Während der Projektlaufzeit musste die zeitliche AP-Planung inklusive der Meilensteinplanung angepasst werden. Aufgrund der Covid-19-Pandemie und von personellen Veränderungen, musste eine kostenneutrale Projektlaufzeitverlängerung beantragt werden, welche auch bewilligt wurde.

Zusätzlich zum Soll/Ist-Abgleich des Projektfortschritts, wurden in AP 1.1 rechtliche Fragen und Angelegenheiten koordiniert. Zum Beispiel im Rahmen der Erstellung des Kooperationsvertrags, der Datennutzungsvereinbarungen und in der Aufklärung von datenschutzrechtlichen Fragen. Zu letzterem mussten zwischen den Projektpartnern nachträglich zur Datennutzung neue Vereinbarungen getroffen werden. Der Vorgang zeigte rechtliche Unsicherheiten in der Nutzung von kommunalen Daten und die Notwendigkeit einer expliziten und jeweils unterschiedlichen Verpflichtung von wissenschaftlichen und Praxisakteuren. Des Weiteren mussten zu veröffentlichende Inhalte einer zusätzlichen, angepassten und sorgfältigen Prüfung durchlaufen. Diese rechtliche Unsicherheit verlangsamte verschiedene Prozesse in der Modellierung und Veröffentlichung, Verzögerungen konnten nur zum Teil aufgefangen werden.

Zur Sicherung des Informationsaustausches wurden Arbeits- und Projekttreffen organisiert und durchgeführt. Das Format der Arbeitstreffen diente zum problemorientierten fachlichen und inhaltlichen Austausch mit ausgewählten Teilnehmer/-innen. Das Format der Projekttreffen mit allen Projektbeteiligten diente zum Gesamtaustausch des aktuellen Stands, Erreichung der Meilensteine und der Ergebnisse der einzelnen Projektpartner.

Aufgrund der Größe des Projektkonsortiums und der räumlichen Nähe der Projektpartner konnten diverse weitere Treffen und Besprechungen auch ohne eine zentrale Koordination stattfinden. Angesichts der Covid-19-

Pandemie mussten die meisten Begehungen des Quartiers, Besuche von Veranstaltungen mit Bürgerbeteiligung und andere Veranstaltungen in Präsenz gestrichen werden. Ab dem Beginn der Covid-19-Pandemie-Phase fanden die meisten Besprechungen virtuell statt, um weiterhin den Projektzeitplan einhalten zu können. Tabelle 2 zeigt die Übersicht zentral koordinierter Aktivitäten während der Projektlaufzeit. Daneben fanden zahlreiche, nicht zentral koordinierte Treffen und Telefonkonferenzen statt.

Tabelle 2: Übersicht der zentral koordinierten Treffen während der Projektlaufzeit.

Datum	Art	Datum	Art
04.04.2019	Kickoffen-Treffen	**05.11.2020**	Beiratstreffen
25.04.2019	Arbeitstreffen	**10.12.2020**	Arbeitstreffen
24.05.2019	Beiratstreffen im Rathaus Karlsruhe	**15.01.2021**	KIT-internes Arbeitstreffen
01.10.2019	Arbeitstreffen	**05.02.2021**	Arbeitstreffen von KIT und Smart Geomatics
04.12.2019	Arbeitstreffen	**10.03.2021**	KIT-internes Arbeitstreffen
04.03.2020	Projekttreffen	**23.03.2021**	Projekttreffen
20.03.2020	Arbeitstreffen SG	**14.04.2021**	Projekttreffen
30.04.2020	KIT-internes Arbeitstreffen	**30.06.2021**	Projekttreffen
19.05.2020	KIT-internes Arbeitstreffen	**03.08.2021**	Arbeitstreffen
09.07.2020	KIT-internes Arbeitstreffen	**21.01.2022**	Projekttreffen
23.07.2020	Projekttreffen	**31.03.2022**	Projekttreffen
15.10.2020	KIT-internes Arbeitstreffen	**31.05.2022**	Projekttreffen

Neben diesen Kernaktivitäten wurden die Arbeitspakete in diversen Rollen unterstützt, beispielsweise bei der Organisation zentraler Termine für Experteninterviews oder bei der Kontaktierung von externen städtischen Stellen (z. B. Gartenbauamt Karlsruhe, Tiefbauamt) und assoziierten Projektpartnern sowie bei der Koordination und Federführung von gemeinsamen Beiträgen/ Veröffentlichungen.

3.1.2.2 Reporting

Die Erstellung der Zwischenberichte, Zwischenpräsentationen, Abschlusspräsentation, Abschlusspublikation und des vorliegenden Abschlussberichts wurden koordiniert und durchgeführt. In AP 1.2 wurde neben der Berichterstattung die Zusammenarbeit mit den Querschnittprojekten durchgeführt. Diese umfassten die folgenden Treffen und Aktivitäten (Tabelle 3). Das Konsortium von NaMaRes hat maßgeblich bei den Aktivitäten, z. B. Indikatoren und Digitalisierung mitgewirkt.

Tabelle 3: Übersicht zur Zusammenarbeit mit dem Querschnittsprojekt und zum Reporting.

Datum	RES:Z Treffen	Datum	RES:Z Treffen
div. Telefonkonferenzen und Workshops.		**09.11.2020**	Querschnittsthema Digitalisierung/Webtools
05.06.2019	Offizielles Kickoff-Treffen in Frankfurt	**19.01.2021**	öffentliche RES:Z Statuskonferenz mit Präsentation der NaMaRes-Zwischenergebnisse
14.11.2019	RES:Z Indikatoren	**20.01.2021**	RES:Z-Lenkungskreissitzung
17.12.2019	RES:Z Digitalisierung und Webtools	**24.02.2021**	RES:Z-Lenkungskreissitzung
10.3.2020	RES:Z Transfer	**26.04.2021**	RES:Z-Dialogtreffen
10.03.2020	RES:Z Querschnittsthema Transfer	**08.10.2021**	RES:Z-Lenkungskreissitzung
31.03.2020	Querschnittsthema Digitalisierung/Webtools	**04.05.2022-05.05.2022**	Transferkonferenz der Fördermaßnahme
03.07.2020	RES:Z Querschnittstreffen Indikatoren	**10.05.2022 11.05.2022 25.05.2022 30.05.2022**	RES:Z Online-Konferenz-Serie
13.10.2020	RES:Z Querschnittsthema Transfer		

3.1.2.3 Öffentlichkeitsarbeit

Insgesamt wurden sowohl gerichtete als auch ungerichtete Aktivitäten für die öffentliche Darstellung des Projekts und dessen Ergebnissen durchgeführt (Fachpublikum oder die Allgemeinheit als Adressaten). Abweichend von der

ursprünglichen AP-Planung wurde in AP 1.3 ein Projektvideo erstellt und zur Veröffentlichung auf dem YouTube-Kanal des Förderprogramms zur Verfügung gestellt (Ressourceneffiziente Stadtquartiere: https://www.youtube.com/watch?v= ONiHjQ5cc0). Neben dieser Arbeit wurde die Webpräsenz des Projekts regelmäßig gepflegt. Des Weiteren wurden das Projekt und ausgewählte Ergebnisse bei verschiedenen Gelegenheiten öffentlich vorgestellt. An den Maßnahmen des Begleitprojekts und der Öffentlichkeitsarbeit, z. B. Projektblatt, Projektwebauftritt RES:Z und RES:Z Lernmodul wurde entsprechend zugearbeitet. In Tabelle 4 und 5 werden weitere Aktivitäten zur Außendarstellung des Projektes aufgeführt. Wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, hat das Projekt eine maßgebliche Rolle in der wissenschaftlichen Veröffentlichung und akademischen Außendarstellung durch die Editorentätigkeit des Special Issues von Sustainability (MDPI) „Resource Management in Urban Districts – a Contribution to Sustainable Urban Development“ eingenommen.

Tabelle 4: Ausgewählte Meilensteine aus der zentralen Öffentlichkeitsarbeit in AP 1.

Zeitraum/ Datum	Öffentlichkeitsarbeit	Zeitraum/ Datum	Öffentlichkeits-arbeit
10.07.2019	Öffentliche Vorstellung des Projekts im Rahmen einer lokalen Bürgerinformations-veranstaltung zum/im Sanierungsgebiet Innenstadt Ost	**03.09.2021**	Planungsbüro: Vorstellung von Zwischenergebnissen an Projekt und Förderprogramm Externe
2020	Erarbeitung des Kurzfilms zum Projekt, der an der Statuskonferenz im Januar 2021 präsentiert wurde und auf dem YouTube Kanal der Fördermaßnahme verfügbar ist.	**28.04.2022**	Externe Städte: Vorstellung von Zwischenergebnissen an Projekt und Förderprogramm Externe
19.03.2021	Gartenbauamt, Karlsruhe: Vorstellung von Zwischenergebnissen an Projekt und Förderprogramm Externe	**16.10.2021**	Hofbegehung Karlsruher Innenstadt-Ost

Tabelle 5: Ausgewählte Öffentlichkeitsarbeit mit wissenschaftlichem Fokus.

Dissemination im Rahmen von AP 1
Konferenzbeitrag zur BEYOND2020 – World Sustainable Built Environment Conference, Juni 9–11 2020, Göteborg, Schweden. Dafür wurden eine gemeinsame Veröffentlichung und ein Poster mit dem Titel „Stakeholder-specific assessment of environmental, economic and social effects of resource-efficiency measures in urban districts - first results“ erstellt und vorgestellt [5]
Editorentätigkeit beim Sustainability special isssue „Resource Management in Urban Districts – a Contribution to Sustainable Urban Development“
DFNS 2021 - Dresdner Flächennutzungssymposium am 28.-29. Juni 2021 im Steigenberger Hotel de Saxe, Dresden. NaMaRes-Inhalte: 2 Beiträge, ein Poster und eine Präsentation. 1.„Kartierung und Bewertung von Grünbeständen und deren Ökosystemleistungen in privaten Innenhöfen – Erkenntnisse einer quartiersbezogenen Erhebung“ [8], 2. „Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen“ [4]
Vorstellung des Projekts am Environment Day des „Fédération de recherche en environnement et durabilité“ der Universtität Strasbourg (02.06.2022)
Pflege der Webseite und News-Meldungen über die Institutswebseiten.
Div. Social Media Postings: Researchgate und Linkedin

3.1.3 Vorstudie, Grundlagen/Gesamtkonzept, Indikatorentwicklung und -definition auf Quartiersebene, Ermittlung des Datenbedarfs (AP 2)

3.1.3.1 Durchführung der Vorstudie

In einer Vorstudie wurde untersucht, wie eine Annäherung an Fragen der nachhaltigen Quartiersentwicklung bei bereits bestehenden Stadtteilen mit einem Schwerpunkt auf der effizienteren Nutzung von Ressourcen wie Fläche/Böden, Wasser und Stoffen erfolgen kann. Hierzu wurden bereits existierende Indikatoren und Indikatorensysteme auf nationaler und kommunaler Ebene analysiert, vorhandene Leitfäden für eine nachhaltige Quartiersentwicklung ausgewertet sowie eine erweiterte Literaturrecherche durchgeführt. Es wurde herausgearbeitet, dass top-down der Ausgangspunkt in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie und den Indikatoren der nationalen Nachhaltigkeitsberichterstattung besteht. Dabei wurde deutlich, dass sich diese Indikatoren nicht automatisch auf die Quartiersebene übertragen lassen.

Ein weiterer Ausgangspunkt sind die im Quartier festgestellten Probleme und Defizite, die von lokalen Akteuren definiert werden (im Projektbeirat vertreten). Insofern kann bei einer Entwicklung von Indikatoren einerseits von gesetzten Themen ausgegangen werden, deren Bearbeitung an lokale Besonderheiten und spezifische Systemgrenzen anzupassen ist sowie andererseits von individuellen Indikatoren, mit denen auf lokale Probleme reagiert wird. Weiterhin wurde der Stand der Normung analysiert. Derzeit laufen Normungsaktivitäten zur nachhaltigen Stadtentwicklung. Bereits veröffentlichte Normen wurden ausgewertet und in die weitere Arbeit einbezogen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Normen zur nachhaltigen Stadtentwicklung.

Standard/Norm	Titel
ISO 37101:2016	Sustainable development in communities — Management system for sustainable development — Requirements with guidance for use
ISO 37120:2018	Sustainable cities and communities — Indicators for city service and quality of life
ISO 37122:2019	Sustainable cities and communities — Indicators for smart cities
ISO 37123:2019	Sustainable cities and communities — Indicators for resilient cities

3.1.3.2 Indikatorentwicklung und -definition auf Quartiersebene

In einer frühen Phase des Projekts wurden die methodischen Grundlagen für die Entwicklung, Anwendung und Interpretation von Indikatoren auf Quartiersebene erarbeitet und mit den Projektbeteiligten abgestimmt. Es wurde eine Systematik von Zustands-, Performance- und Wirkungsindikatoren entwickelt. Zudem wurden Indikatoren vorgeschlagen, die sich einer technischen, ökologischen, ökonomischen und/oder soziokulturellen Dimension bzw. prozessualen Abläufen zuordnen lassen und insbesondere Bezüge zu den Arbeits- und Verantwortungsbereichen bzw. den Handlungsmöglichkeiten konkreter Akteursgruppen aufweisen. Es wurde herausgearbeitet, dass nur durch einen Akteursbezug („wer kann aktiv handeln? wer ist passiv betroffen?“) eine nachhaltige Entwicklung im Quartier konkret unterstützt und

umgesetzt werden kann. Ausgehend von der Projektvorgabe, sich bei der Entwicklung von Indikatoren auf die Themenfelder Stoffe, Wasser und Fläche zu konzentrieren, wurde herausgearbeitet, dass für Querschnittbetrachtungen das Themenfeld der Ökosystemleistungen unverzichtbar ist.

Basierend auf Vorarbeiten des AGW und der Datenerhebungen in AP 3.1 (3.1.4.1) wurden daher Ökosystemleistungsindikatoren auf Quartiersebene (weiter-)entwickelt.

Es wurden auf Initiative der Projektbearbeiter des KIT in einem, die übrigen RES:Z-Projekte einbeziehenden Prozess die Grundlagen sowohl für eine vereinfachte und als auch für eine ausführliche Beschreibung von Indikatoren entwickelt. Ein Ergebnis ist eine mit den übrigen Projekten von RES:Z im Rahmen der Arbeitsgruppe Querschnittsthema „Indikatoren“ abgestimmte Handreichung zur Nutzung von Indikatoren bei der Weiterentwicklung bestehender Quartiere in Richtung ressourceneffizienter Stadtteile [30]. Erste werden projektübergreifend genutzt, letztere werden durch handlungsleitende Elemente ergänzt zur künftigen Anwendung empfohlen. Weitere Ergebnisse werden in den Leitfäden vorgestellt [31–35].

3.1.4 Datenerhebung und Datenanalyse im Quartier (Gebäude/ Infrastruktur), Tiefenrecherche zu Ressourceneffizienzmaßnahmen; Typologisierung (AP 3)

Im Projekt sind mehrere wissenschaftlich begutachtete Publikationen und Konferenzbeiträge entstanden, welche wesentliche Teile des AP 3 dokumentieren. Diese sind:

- „Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung - Zwischenergebnisse aus NaMaRes“ [4]

- „Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier – Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe“ [8]
- „Namares—A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management“ [6]
- „Mapping Urban Green and Its Ecosystem Services at Microscale—A Methodological Approach for Climate Adaptation and Biodiversity“ [7]

3.1.4.1 Umfassende Datenerhebung und -analyse über den Ist-Zustand

In einem ersten Schritt wurden die vorhandenen Daten und die Datenbestände städtischer Akteure gesichtet und analysiert. Hierbei lagen teilweise nur Metadaten vor, was eine grundlegende Analyse ermöglichte, jedoch gesicherte Erkenntnisse über die Datenvollständigkeit, -aktualität und -güte einschränkte. Auf Basis der vorläufigen Erkenntnisse wurden die Basisdaten zu Liegenschaften, Gebäuden und Gelände bestellt (siehe Tabelle 7). Separate Datennutzungsvereinbarungen wurden zwischen den jeweiligen Ämtern und den jeweiligen Nutzenden (Institute und Partner) geschlossen.

Tabelle 7: Untersuchte kommunale Daten in AP 3.

Bestellte Daten

Liegenschaftsdaten aus dem Amtlichen Liegenschaftskataster (ALKIS®)	Befestigungsdaten und Oberflächendaten aus den Daten zur gesplitteten Abwassergebühr
CityGML 3D Gebäudemodell in Level of Detail (LOD) 2	Luftbilder und Orthofotos
Laserscan Daten aus den Laserscanbefliegungen	Baum und Grünflächenkataster
Statistische Baublockkarte und dazugehörige Erhebungsdaten	Eigentumsdifferenzierung für die Gebäude
Denkmalschutzdaten	Topografiekarten
Digitales Geländemodell	

Basierend auf dem Stand der gelieferten Daten wurden detaillierte Analysen durchgeführt und fehlende Daten erkannt bzw. Unklarheiten geklärt. Dies führte zu weiteren Datenbestellungen. Nach Abschluss der Analyse und Evaluierung der städtischen Daten, wurden verschiedene Erhebungsziele und *Erhebungsverantwortlichkeiten* bestimmt.

Das IIP erhob im Rahmen eines Seminars mit Studierende wichtige Daten zum Gebäudebestand. Dabei wurden die Wohngebäude im Quartier in die IWU/Episcope-Gebäudetypen klassifiziert und bei Nicht-Wohngebäuden die Nutzung (nach ALKIS-Objektartenkatalog) erhoben. Des Weiteren wurde versucht, die Fassadennutzung der Gebäude kleinteilig zu erfassen, was jedoch durch den Erhebungsaufwand und die Zugänglichkeit nicht ausreichend aussagekräftig war. Hauptgrund war die mangelhafte Zuverlässigkeit der Erhebung und Vermessung anhand von Fernerkundungsdaten (Schrägluftbild-aufnahmen und Google Earth).

Für die Bewertung des Ausgangszustands und Berechnung von Indikatoren wurden umfangreiche Tiefenrecherchen zu relevanten Parametern durchgeführt. Unter anderem wurden Daten zu Kostensätzen über BKI-Kataloge des Baukosteninformationszentrums und andere Publikationen hergeleitet, sowie zu Niederschlagsmengen und zu Solarenergieeinstrahlungen aus der Literatur zusammengestellt (siehe [6]).

Das AGW erhob im Rahmen von Voruntersuchungen und einer Kartierung den Ist-Zustand von Ökosystemleistungen im Beispielquartier. Die Erhebungen wurden in die Lehre integriert und daraufhin durch Studierende unterstützt. Zunächst wurden insgesamt sieben Ökosystemleistungen als Voruntersuchung im Rahmen einer Abschlussarbeit erfasst und monetär bewertet [36].

Im Anschluss wurde eine umfassende kleinräumige (unter 1 m^2 Auflösung) Biotoptypenkartierung mithilfe des Biotoptypenschlüssels der Landesanstalt für Umwelt in Baden-Württemberg [37] und der stadtspezifischen Erweiterung durch den Kartierschlüssel von Breunig [21] durchgeführt. Zusätzlich wurden Stellflächen für Abfallbehälter erhoben. Diese Kartierung wurde aufwändig

digitalisiert und führte zu einem digitalen Datensatz (für Geoinformationssysteme (GIS)) über die Biotoptypen auf öffentlichen und privaten Flächen. Lediglich 0,3 % (968 m²) der Gesamtfläche des untersuchten Quartiers konnten nicht kleinräumig kartiert werden. Des Weiteren wurde eine Baumkartierung nach den Anforderungen zur Erstaufnahme eines Baumbestandes [38] durchgeführt. Dadurch konnte das existierende Baumkataster der städtischen Bäume aktualisiert werden. Besonders hervorzuheben ist, dass der private Baumbestand erstmal inventarisiert werden konnte. Die aufgenommenen Attribute pro Baum sind die Baumart, der Brusthöhendurchmesser (BHD) in Meter, die Baumhöhe in Meter, der Kronendurchmesser in Meter und der Baumstandort [39].

Ebenfalls wurde eine Temperaturmesskampagne mittels Messfahrten mit einem speziell präparieren „Klimamessfahrrad" durchgeführt. Das Klimamessfahrrad ist mit einem GPS-Gerät, Temperatursensoren, einem Feuchtesensor, einem Pyranometer, einem Aspirationspsychrometer, einem Datenlogger, einem Lüfter mit Akku und einem Outdoor-Notebook ausgestattet. Die mobilen Klimamessungen in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe wurden auf einer vorher festgelegten Route durch das Untersuchungsgebiet am Tag und in der Nacht durchgeführt. Gemessen wurden auf der gesamten Fahrtstrecke die Temperatur, die Luftfeuchte und die Globalstrahlung. Hierdurch kann ein Überblick über die gesamte stadtklimatische Erwärmungssituation in Form von Kartendarstellung in einem Geoinformationssystem gewonnen werden [40–42]. Die Hitzebelastung auf innerstädtischen Plätzen bzw. der thermische Komfort an verschiedenen Stellen eines innerstädtischen Platzes (Lidellplatz) wurde an sehr heißen Tagen im Sommer 2019 mittels lokaler mikroklimatischer Messungen erhoben und mithilfe des Rayman-Modells analysiert [43]. Die Flächennutzung wurde anhand dreier Plätze (Lidell- / Waldhorn- und Fasanenplatz) hinsichtlich ihrer Funktionen für die Stadtbewohner/-innen untersucht [44]. Zusätzlich wurde die Umsetzung von Flächennutzungszuteilungen in Bauleitplänen und für Flächen in Karlsruhe und in Mannheim untersucht [45]. Der ökologische Fußabdruck wurde im Rahmen des Stadtökologischen Praktikums 2021 für die Parameter Zu-/Abwasser, Abfall,

Lebensmittelverbrauch und Energie für das Untersuchungsgebiet analysiert [46]. Das Quartier wurde in ENVI-met dreidimensional nachmodelliert. Dies erlaubte die Simulation von Klimaszenarien [47, 48].

Das CMM erhob die abfallwirtschaftliche Situation im Quartier. Als Daten wurden Abfallmengen und Einwohner/-innen erhoben. Dazu wurden Unterlagen aus dem Amt für Abfallwirtschaft (AfA) und dem statistischen Amt (AfSta) herangezogen. Da hier keine persönlichen Daten genutzt wurden, die u. a. Rückschlüsse auf einzelne Bewohnende zuließen, und die Daten zudem noch als Summenparameter in die Untersuchungen einflossen, wurden keine datenschutzrechtlichen Bedenken angemeldet. Im Untersuchungsgebiet sind zwei unterschiedliche Abfallsammelsystem installiert: Im Kerngebiet des Sanierungsgebiets wurde in den 1970er-Jahren eine pneumatische Müllentsorgung (PME) installiert, mit der Abfälle von ca. 2.500 Einwohnende über sog. Schleusenkippmulden („Müllschlucker“) in Wohnungsnähe entsorgt werden. Die eingeworfenen Abfälle werden mehrmals täglich abgesaugt und über Rohrleitungen hydraulisch zu einer Zentrale gefördert. Dort werden sie in Presscontainern zwischengelagert und turnusmäßig abgefahren. Bei weiteren ca. 4.000 Einwohnenden ist ein konventionelles behältergebundenes Abfallsammelsystem installiert. Erfasste Daten sind nach Abfallart aufgeschlüsselte Abfallmengen: Restmüll (schwarze Tonne mit schwarzem Deckel), gemischte Wertstoffe (schwarze Tonne mit rotem Deckel), Bioabfälle (schwarze Tonne mit grünem Deckel) und Papier/Pappe/Kartonage (schwarze Tonne mit blauem Deckel). Des Weiteren erfasst wurden Einwohnende (grundstücksscharf und baublockscharf), Gewerbebetriebe mit evtl. separater Abfallentsorgung, notwendige Abfallbehälter gemäß Abfallsatzung (Größe, Art), notwendiger Platz für die Aufstellung der Abfallbehälter und deren Transport zur Leerungsstelle (auch evtl. notwendige Rangierflächen).

3.1.4.2 Tiefenrecherche zu Ressourceneffizienzmaßnahmen in den Bereichen Wasser, Flächennutzung und Stoffströme

Durch umfangreiche Literaturrecherchen wurden Ressourceneffizienzmaßnahmen systematisch kategorisiert und mit technischen, ökonomischen und

ökologischen Daten hinterlegt. Beispielsweise wurden zahlreiche Leitfäden, Indikatorensysteme und Normen analysiert, beispielhaft für die Themenbereiche Wasser und Stoffströme: [49–54].

Die zusammengetragenen Kennzahlen und Werte wurden auf Vergleichbarkeit (z. B. hinsichtlich der Systemgrenzen) geprüft und statistisch ausgewertet. Zum Beispiel wurden für die Investition und Betriebskosten der betrachteten Maßnahmen flächenabhängige Funktionen entwickelt, welche die Größendegression oder Skaleneffekte abbilden [6]. Dies ermöglichte den Aufbau von Maßnahmenklassen, welche größenabhängig (Fläche oder Leistung als funktionale Einheit) modelliert werden konnten. Ebenso und hinsichtlich der technischen und ökologischen Modellierung von Ressourceneffizienzmaßnahmen wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt und mit besonderem Augenmerk auf die Vergleichbarkeit entsprechend ausgewertet und modelliert [6]. Hierbei wurde insbesondere auch darauf geachtet, dass die Änderung vom Ausgangszustand zum Zustand nach dem Implementieren einer Ressourceneffizienzmaßnahme abgebildet werden kann. Insgesamt wurden neun Maßnahmen modelliert (Abbildung 4 und vgl. Abschnitte 3.1.8 und 3.1.9).

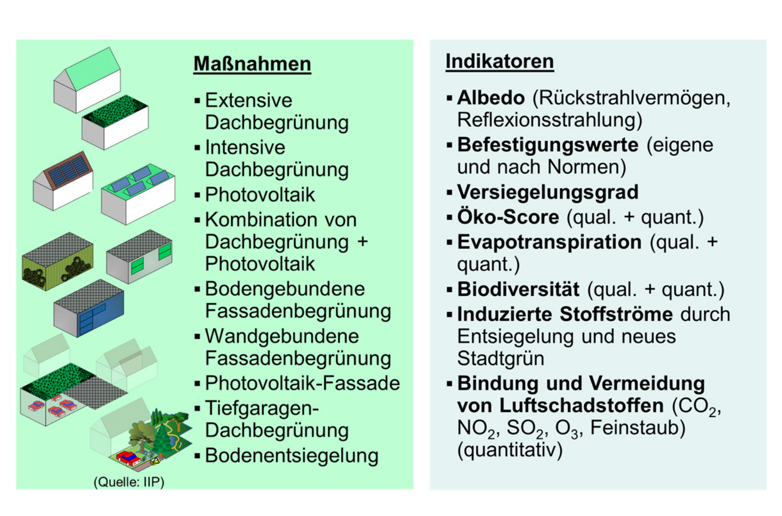


Abbildung 4: Modellierte Maßnahmen im NaMaRes Modell.

Die Gebäude selbst inklusive der notwendigen Infrastruktur in den urbanen Systemen beinhalten ein hohes Potenzial von Materialien, denen man z. B. einen CO_2-Gehalt zuordnen könnte. Dieses statische Potenzial wurde nicht betrachtet. Vielmehr wurde das dynamische Potenzial betrachtet. Das dynamische Potenzial eines urbanen Systems beinhaltet Ressourcen, die z. B. umgeschlagen werden (u. a. Lebensmittel und haushaltsmäßige und gewerbliche Güter), dabei auch die Güter, die nach Gebrauch entsorgt werden. Dieser Bereich der Stoffströme zeigt sich in der Abfallwirtschaft – nicht nur in der behältergebundenen Entsorgung, sondern auch in den darüberhinausgehenden Entsorgungen als Sperrmüll, Grünschnitt, Bauschutt aus Neu- und Umbauten, über Depotcontainer (Altglas, Alttextilien, Batterien, etc.) oder über Eigentransport der Einwohnenden zu Entsorgungseinrichtungen. Diese Potenziale sind teilweise beschrieben und Daten dazu können bei z. B. dem Umweltbundesamt (UBA) oder Bundes- bzw. Landesministerien beschafft werden.

In diesem AP wurde der Fokus auf die Ressource „Fläche“ gelegt, die im urbanen Bereich, noch dazu im stark verdichteten Bereich der Innenstädte, ein knappes Gut ist. Es besteht eine hohe Konkurrenz zur Nutzung der Flächen für verschiedene Zwecke, deren hierarchische Notwendigkeit nur unzureichend (beispielsweise zur Beachtung von Vorgaben des Klimaschutzes) reglementiert ist. Abfallbehälter, die die Stoffströme der Entsorgung repräsentieren, benötigen befestigte (versiegelte) Fläche, die nur mit zusätzlichem finanziellem Aufwand so gestaltet werden kann, dass parallel ökologisch fördernde Nutzungen möglich werden.

In der Tiefenrecherche zu den Stoffströmen wurden die Entwicklung des Abfallsystems und die Abfallwirtschaft im Untersuchungsgebiet und Karlsruhe analysiert, um zum Beispiel aus der Installation der Infrastruktur entstehende Konflikte mit anderen Nutzungen zu definieren. Es wurden die folgenden Indikatoren identifiziert:

- **Indikator Abfallmenge**: Volumen der anfallenden Abfallmenge oder Anzahl der notwendigen Abfallbehälter der Abfallfraktionen Papier/Pappe, Restmüll, Wertstoffe und Bioabfall.

- **Indikator Abfallbehälter-Volumen**: Volumen der gewählten Abfallbehälter.
- **Indikator Fläche Abfallbehälter**: Flächeninanspruchnahme für die Vorhaltung von Abfallbehälter inkl. der Rangierflächen/-wege.

Die Indikatoren sind u. a. Basis für die Definition der möglichen Konflikte mit weiteren Nutzungen im Quartier. Sie sind ebenfalls Grundlage für Bewertungsschemata, mit denen u. a. konkurrierende Nutzungen von Gebietsflächen oder allgemein der Infrastruktur bewertet werden können.

3.1.4.3 Datenbankaufbau

Für die Anwendung musste für das Back-End eine geoinformationsfähige Datenbank konzipiert und eingerichtet werden. Hierzu wurde durch das IIP und Smart Geomatics (SG) über mehrere Schritte und Phasen ein Konzept und geeigneter Ansatz entwickelt und umgesetzt. Final wurde mittels der PostGIS-Erweiterung für die objektrelationale Datenbank PostgreSQL ein geeignetes Geoinformationssystem implementiert, was sowohl projektintern die Datengrundlage zum Datenaustausch als auch für die finale Webanwendung abbildet. Die Arbeiten in diesem AP fanden teilweise parallel zur Modellierungsarbeit des IIPs in AP 5 statt (3.1.6). Eingehende und Detaildarstellungen zur inhaltlichen Ausgestaltung, Daten-Vor-/Nachbearbeitung werden aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Beschreibung von AP 5 zusammengefasst. Im Folgenden werden die Schritte und die EDV-technische Entwicklung der Datenbank beschrieben.

Zunächst wurden erste Fortschritte mittels verschiedener und uneinheitlicher EDV-Werkzeuge erreicht. Diese beinhalteten die für den Datenbankaufbau notwendige explorative Datenanalyse mit QGIS, Python und Excel. Bis ca. zur Mitte der Projektlaufzeit wurden die Datensätze und erstellten Analyseprozesse einzeln gespeichert und verwaltet. Diese Struktur diente dem Nachweis der Machbarkeit. Gemeinsam, durch SG und IIP, und auf Basis der Programmierung der Methodik und einer technischen Dokumentation, erfolgte die iterative technische Abstimmung und Anpassung des Datenbankaufbaus. Nach

dieser vorläufigen Struktur und im iterativen Prozess erfolgte eine Umstellung auf eine zentrale Datenbank und Datenverarbeitung. Diese Umstellung erfolgte in enger Abstimmung von IIP und SG sowie unter Berücksichtigung der Anforderungen für die Nutzung in einer Webanwendung. Die Hauptverantwortung in der Datenvorverarbeitung und projektinternen Datenbankaufbau lag beim IIP. Für die Umsetzung und technische Integration in die Webanwendung war SG verantwortlich.

Mit dem Einsatz einer relationalen Datenbank (PostgreSQL) mit PostGIS-Erweiterung für geografische Funktionen wurde die Implementierung in die Anwendung in Kombination mit der eingesetzten Skriptsprache PHP (geeignet zur Erstellung dynamischer Websites) flexibilisiert.

Durch den ab Mitte/Ende 2021 beidseitig einheitlichen Einsatz der gleichen technischen Werkzeuge und Programmiersprachen und dem damit vereinfachten Austausch sowie dem Teilen der Datenbank und der Berechnungsskripten zwischen IIP und SG, konnte die Umsetzung in der Webanwendung sowie die technische Zusammenarbeit über die weitere Projektlaufzeit direkt erfolgen. Erweiterungen und Änderungen konnten somit nachdem Prinzip der agilen Softwareentwicklung erfolgen. Sogenannte Datendumps (Datenbank-Exporte) und Analyseskripte wurden vom IIP iterativ weiterentwickelt und an SG übermittelt. Änderungen und Erweiterungen der Methodik und an der grundlegenden Datenaufbereitung flossen direkt seitens IIP ein. Die Fehlerbereinigung (Debugging) konnte so von beiden Seiten erfolgen und Lösungen effektiv erarbeitet werden. Das IIP hat darüber hinaus alle Grundlagen zur Ergebnisevaluation bereitgestellt und zusätzlich die Datenbank losgelöst von der Anwendung weiterentwickelt. Die Daten(-Attribute), die nicht unmittelbar in die Webanwendung einfließen, konnten so zentral dokumentiert werden.

Mit dieser Form des effizienten Datenaustausches haben sich im Verlauf auch einige Rahmenbedingungen geändert. Eine flexible Erweiterung der Datenbank ist weiterhin gewährleistet. Da die benötigten Basis-/Eingangsdaten nun direkt von IIP aufbereitet und in die Datenbank eingesetzt wurden und auch weitere Software zur Verarbeitung der 3D-Stadtmodelle zum Einsatz kam, ist

der generelle Datenerhebungs- und Aufbereitungsprozess von SG in der Projektverstetigungsphase nochmal gemeinsam mit dem IIP zu bewerten und ggf. anzupassen, damit SG zukünftig auch unabhängig vom KIT in der Lage sein wird, die Anwendung inkl. der relevanten Datenbank-Inhalte und -Skripte für interessierte Kommunen bereitzustellen.

Technische Daten der NaMaRes-Datenbank und für die Integration in die Webtoolanwendung verwendete Software:

- PostgreSQL v.13: PostgreSQL ist ein objektrelationales Datenbankmanagementsystem (ORD-BMS), das als Open-Source-Programm frei verfügbar ist und ohne Lizenzierung heruntergeladen und benutzt werden darf (http://postgresql.de/).
- PostGIS v.3: PostGIS ist die räumliche Erweiterung der relationalen Datenbank PostgreSQL. PostGIS ermöglicht die Speicherung, Abfrage und Bearbeitung von räumlichen Daten (https://live.osgeo.org/de/quickstart/postgis_quickstart.html).

In der Datenbank sind alle innerhalb der Webanwendung verwendeten Daten abgelegt. Das umfasst:

- Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse
    - Ausgangsdaten aus Lieferungen des KIT, sowie der Stadt Karlsruhe
    - Parameter und Faktoren der Berechnung
    - Zwischenschritte und Ergebnisse der Berechnung in einzelnen Relationen
    - Auswertungen und Aggregationen der Ergebnisse
- Hilfstabellen
    - Benutzertabelle und weitere anwendungsbezogene Hilfstabellen
    - Unterstützende Geometrien (z. B. Geometrie des Projektgebiets, Baum-, Biotopkartierung, etc.)
- Ergänzende Tabellen

- Teilweise kopierte Tabellen der Berechnungen als Speicherort für Berechnungen (für den manuellen Entsiegelungsrechner) innerhalb der Anwendung

Vorhandene Ausgangsdaten werden in der Datenbank nach Durchführung der grundlegenden Berechnung nicht verändert, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht zu gefährden. Mittels (Ausgangsdaten und) Skripten zur Berechnungslogik des IIP lassen sich allein mit den Ausgangsdaten alle Ergebnisse wiederherstellen. Es werden hierbei neben Datenbankoperationen auch räumliche Operationen (z. B. Verschneidungen) durchgeführt. Daraus resultiert ebenfalls eine einfache Möglichkeit zur Aktualisierung der Methodik, da diese analog auch bei eigenen Berechnungen (wie dem manuellen Entsiegelungsrechner) innerhalb der Anwendung verwendet werden kann. Alle Bearbeitungsschritte liegen als SQL-Skript vor und sind über die direkte Einbindung der Datenbank mittels PHP-Schnittstelle sowohl direkt in der Datenbank ausführbar als auch von der Anwendung selbst aus. Künftige Aktualisierungen der Ausgangsdaten sowie der Methodik können so mit geringem Aufwand übernommen werden (Abbildung 5).

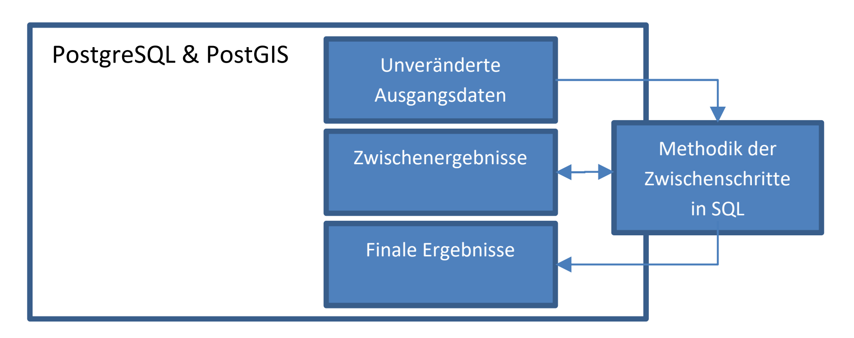


Abbildung 5: Grundlegender Ablauf der Berechnungen in der Datenbank.

Um die manuellen Entsiegelungen berechnen zu können, sind alle notwendigen Relationen innerhalb der Datenbank gespiegelt. Dies bietet die Grundlage für den manuellen Entsiegelungsrechner, der auf die identische Methodik

zugreift, aber losgelöst von den Originalberechnungen durchgeführt wird. Somit wird die Integrität der Ausgangsdaten gewährleistet, da kein schreibender Zugriff auf die Originaldaten stattfindet. Neben den Ausgangsdaten der Analysen ist die Datenbank um weitere Hilfstabellen ergänzt, welche die Benutzerverwaltung der Webanwendung vorgibt. Daraus resultiert eine Datenbank, die alle notwendigen Daten beinhaltet, welche für Analyse und Bereitstellung innerhalb der Webanwendung benötigt werden. Die verwendete Struktur bietet zusätzlich den Vorteil, weitere Analysen, Aggregationen und Auswertungen der Daten „on-the-fly“ innerhalb der Anwendung über Schnittstellen und dynamische Datenbankabfragen durchzuführen, ohne die Daten verändern zu müssen. Somit sind alle gelieferten Daten abschließend als statische Daten zu betrachten und nur eigene Berechnungen der Daten nicht statisch.

3.1.4.4 Information der Eigentümer, der strukturierten Öffentlichkeit und der Stakeholder im Quartier Innenstadt-Ost zur Datenerhebung und Datenanalyse

In Form der vorbereitenden Voruntersuchung des Sanierungsgebiets Innenstadt-Ost wurden seitens der Stadt Karlsruhe bereits einige wichtige Daten und Auswertungen zur Verfügung gestellt. Diese beinhalteten Informationen zur sozialen Struktur des Quartiers und zu der Struktur des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Ergänzt wurden diese Daten und Auswertungen durch Erfahrungen der Stadt aus anderen Sanierungsgebieten und von Erfahrungen des Netzwerkes für Planung und Kommunikation Sippel und Buff.

Ein wesentliches Resultat der Arbeiten dieses APs war die Schwerpunktsetzung der Analysen auf die nur schwer quantifizierbaren Entsiegelungspotenziale auf Flurstücken mit privater Eigentümerstruktur.

3.1.5 Datenerhebung und Datenanalyse bei den Akteuren; Typologisierung (AP 4)

Dieses Arbeitspaket konnte nicht in dem Maße umgesetzt werden, wie im Projektantrag vorgesehen. Hauptursache für die Abweichung war die pandemische Lage (COVID-19) in Deutschland zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung. Zu Beginn des Projekts getroffene Vorbereitungen waren nicht mehr anwendbar. Das Zeitfenster für Erhebungen konnte nicht in spätere Projektmonate verschoben werden, da die Umstände lange andauerten, eine große Planungssicherheit vorherrschte und eine Erhebung zu einem sehr späten Zeitpunkt nicht mehr ohne größere Verzögerungen integriert werden konnten. Zusätzlich erschwerend kamen Personalwechsel im Konsortium und der Wegfall von geplanten Öffentlichkeitsveranstaltungen im Quartier hinzu.

3.1.5.1 Datenerhebung durch Befragung und Auswertung/ Datenanalyse

Diese Erhebung konnte nicht durchgeführt werden (siehe oben). Bei der Analyse der Akteure wurde stattdessen auf statistische Daten der Stadt zurückgegriffen, um soziale Aspekte im entwickelten Modell zu berücksichtigen. Diese Daten umfassten zum einen die im Bericht „Vorbereitende Voruntersuchung des Sanierungsgebiets Innenstadt Ost“ durchgeführten Analysen und zum anderen die Fortschreibungen der Erhebung der Bevölkerungsentwicklung des Zensus 2011 durch die Statistikstelle der Stadt Karlsruhe. Letzteres gibt einen Gesamtüberblick der Bevölkerungsstruktur bis auf statistische Baublockebene wieder. Individuelle private/wirtschaftliche Akteure konnten nicht aufgelöst werden. Andere Akteure wie die Volkswohnung, Haus&Grund und das KIT (angrenzendes Campus-Gelände) waren im Projektbeirat eingebunden.

Die Akteursidentifikation mit Verfügungsrechten über die Immobilien und Grundstücke im Quartier war mit dieser Datengrundlage nicht möglich. Im Rahmen einer Quartiersbegehung (organisiert durch Sippel.Buff und der Stadt Karlsruhe) im Verlauf des Projekts konnte ein Akteur gefunden werden, welcher eine konkrete Absicht für eine spätere Umsetzung einer Entsiegelung

hatte. Erwähnenswert ist, dass das Zeitfenster für eine geförderte Entsiegelung im Beispielquartier von 2018 bis 2030 ist und somit die zufällige Identifizierung von Akteuren mit Handlungsabsicht erschwert ist. Eine strukturierte und systematische Erhebung im Quartier hätte mehr Einblick in die Handlungsabsichten der Akteure zugelassen. Diese konnte aus erwähnten Gründen nicht durchgeführt werden. Die geplante Erhebung sollte eine Breitenerhebung darstellen und wäre durch Haus&Grund unterstützt worden, was die Reichweite auch zu nicht im Quartier lebenden Eigentümer/-innen erweitert hätte.

Die Biotopkartierung der privaten Flächen erfolgte im Kontakt mit den Anwohnern. Eine strukturierte Befragung dieser war nicht umsetzbar. Des Weiteren wurde die primäre Datenerhebung zu den Abfall- und Abfallbehältersituation durch o. g. Erhebungen bei den Akteuren ergänzt. Diese erfolgten nur dann, wenn widersprüchliche Datengrundlagen ersichtlich wurden. Und diese konnten durch Begehungen einvernehmlich geklärt werden.

3.1.5.2 Akteurstypologie

Literaturrecherchen lieferten grobe Akteurstypologien (Abbildung 6), welche mit den vorhandenen Daten zwar verschnitten werden können, aber nicht die erwünschte Granularität erbracht haben. Somit war der Mehrwert für die weiteren Untersuchungen bzw. Integration in den Simulationen und Bilanzierungen begrenzt.

Für die Abfallwirtschaft und die Untersuchung des Bereiches der Stoffströme gliederten sich die Akteure in zwei Gruppen: die Bewohner/-innen des Untersuchungsgebiets und die potenziell konkurrierenden Nutzer/-innen. Eine Typologie der Bewohner/-innen ist im Kontext „Flächenkonkurrenz durch Abfallbehältnisse“ speziell nicht notwendig, da hier ein durchschnittliches verdichtetes Siedlungsgebiet vorliegt. Sowohl die Dichte der Bewohner/-innen als auch Art und Umfang von gewerblichem Handeln erfordert dann eine spezielle Untersuchung, wenn kleinräumig Maßnahmen z. B. zum Entsiegeln geplant werden. Dann sind z. B. Ansprüche von Gewerbebetrieben (Handel

oder Gastronomie) mit aufzunehmen und zu berücksichtigen. Ansonsten können für eine erste Überplanung mit vergleichbaren Daten anderer Strukturen oder anderer Kommunen gearbeitet werden, die aus Quellen der Dachverbände (z. B. VKS/VKU oder DWA) zugänglich sind.

Potenziell konkurrierende Nutzende: Diese sind im Projekt weitgehend vertreten und können über die Projektumsetzung und Projektsteuerung in die zu erarbeitenden Ziele integriert werden. So könnten anhand der konkurrierenden potenziellen Nutzungen der Flächen über Bewertungssysteme die Aufwände, aber auch der Nutzen oder Schaden der Nutzungen ermittelt werden. Typologisch sind es Nutzungen zur Verbesserung des urbanen Wasserhaushaltes und des innerstädtischen Klimas, dabei auch unter Beachtung der Biodiversität und des nachhaltigen Umgangs mit den Flächen selbst (allgemeine Stadtplanung).

3.1.5.3 Akteursnetzwerk

Eine genaue und netzwerkbasierte Analyse war aufgrund fehlender Primärdaten nicht umsetzbar. Eine qualitative Darstellung der Nutzungs- und Zielkonflikte wurde anhand von Literatur und dem Erfahrungswissen der Praxispartner des Projekts erbracht (vgl. Abbildung 6).

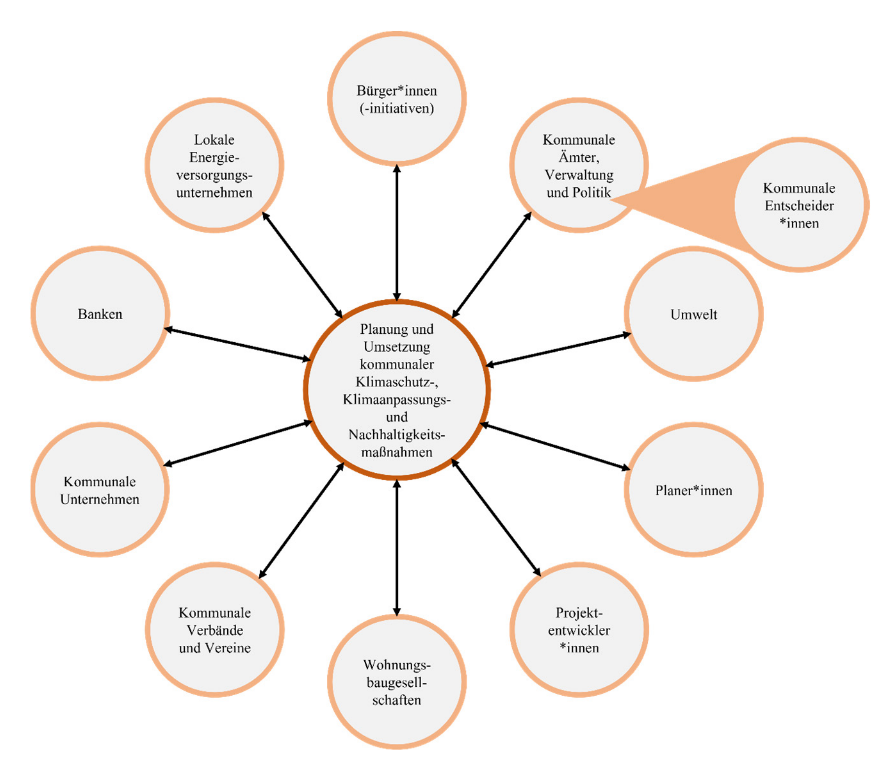


Abbildung 6: Relevante Stakeholder für die Planung und Umsetzung von Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen in der Stadtplanung und -entwicklung.(Darstellung Laura Müller, Quelle: [55])

3.1.5.4 Datenbankaufbau

Eine separate Datenbank für die Speicherung von Akteursdaten wurde nicht benötigt, weshalb die Verwaltung der vorhandenen Daten zu den Akteuren in die Hauptdatenbank integriert wurde und als gemeinsames Arbeitspaket ausgeführt wurde (Abschnitt 3.1.4). Die separate Datenbank wäre erforderlich gewesen, wenn bei den Erhebungen und Befragungen entsprechende Daten getrennt hätten gespeichert werden müssen. Die Erhebungen fanden nicht statt, siehe vorhergehende Abschnitte und Unterkapitel.

3.1.5.5 Quartiersbezogene Einzelinterviews und Kleingruppenworkshops zur Analyse von Akteurskonstellationen und Öffentlichkeitsarbeit

Basis für dieses AP sind die geplante Erhebung und Öffentlichkeitsveranstaltungen des Gesamtarbeitspakets 4. Diese Einzelinterviews und Kleingruppenworkshops konnten aufgrund der Einschränkungen nicht wie ursprünglich geplant durchgeführt werden. Wie in AP 4.1 (3.1.5.1) erwähnt, konnte ein Akteur mit Handlungsabsicht identifiziert werden. Aufgrund der geringen Stichprobengröße fanden hier Beratungsgespräche statt. Diese lieferten keine generell anwendbaren Erkenntnisse, da diese mit Unsicherheiten behaftet sind. Am 16.10.2021 fand, organisiert durch das Stadtplanungsamt, unterstützt durch das Büro Sippel.Buff und das KIT, ein Hinterhofspaziergang zum Thema „Aufwertung von Hofräumen – Entsiegelung und Begrünung“ statt. Zu diesem waren Interessierte über eine Pressemeldung eingeladen (Abbildung 7). Während des Sparziergangs wurden mehrere Hinterhöfe besucht, dabei aus stadtplanerischer Sicht eingeordnet, und Eigentümer/-innen konnten ihre Erfahrungen und Gedanken zur nachhaltigen Entwicklung teilen.

Eine wichtige, aber auch allgemein formulierte Erkenntnis für die Entsieglung von Innenhöfen ist die Tatsache, dass bei Randblockbebauungen die Innenhöfe Überfahrungsrechte/Nutzungsrechte beinhalten können und somit mehrere Eigentümer/-innen für eine Maßnahme gewonnen werden müssen (Abbildung 7), da das Handeln eines einzelnen zu Konflikten führen könnte.



Abbildung 7: Eindrücke aus dem Hinterhofspaziergang in dem untersuchten Quartier. Die gestrichelte Markierung entspricht der Grundstücksgrenze. (Quelle IIP)

3.1.6 Modellierung eines Werkzeugs zur quartiersbezogenen Informationsaufbereitung und ressourceneffizienzsteigernden Entscheidungsunterstützung (AP 5)

Im Projekt sind mehrere Publikationen entstanden, welche wesentliche Teile des AP 5 dokumentieren. Diese sind:

- „Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung - Zwischenergebnisse aus NaMaRes“ [4]
- „Namares—A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management“ [6]

3.1.6.1 Modellkonzeption

Zunächst wurde auf Basis der Recherchen in den AP 2–4 und des Erfahrungsaustausches mit den Praxispartnern die grundsätzliche Konzeption nachgeschärft. Die Ausrichtung, eine Onlineanwendung zu ermöglichen, wurde bestätigt und die Entwicklungsprozesse wurden an die Anforderungen angepasst.

Während des Datenbankaufbaus in AP 3 wurden parallel die ersten Entwicklungsarbeiten in der Programmiersprache Python durchgeführt, was sich bzgl. der Synergien mit vorhandenen Datenbanken und ihrer Schnittstellen als nicht optimal herausgestellt hat. Deshalb und parallel zu den Arbeiten in AP 3 wurden Entwicklungsarbeiten in eine auf die Datenbank abgestimmte Datenverarbeitung und Modellierung umgestellt. Ein besonderer Fokus wurde auf die agile Entwicklung gelegt, welcher die Übertragbarkeit von Erweiterungen zur Entwicklung einer umfassenden Flächen-Geo-Datenbank abzielte. Als beste Alternative hat sich die PostgreSQL-Skriptsprache herausgestellt. Eine wichtige Anforderung für AP 5.2 und die iterative, agile Modellentwicklung konnte damit abdeckt werden.

Durch die PostgreSQL-Erweiterung PostGIS sind keine Nachteile in der Flexibilität der Entwicklung, der Analyseprozesse und des Modells entstanden. Weitere Anforderungen wie die Übertragbarkeit, Berechnungs- und Datenabrufperformance und Kompatibilität konnten auch erfüllt werden, besonders die datenbankfokussierte Ausrichtung der Entwicklung erlaubte, diese Anforderungen zu erfüllen und ermöglichte eine relativ einfache Einbindung (Schnittstelle) in die Webanwendung.

Eine Erweiterung zum ursprünglichen Modellkonzept stellt die zusätzliche Berücksichtigung der Felder Ökosystemleistungen und Energie zu den Feldern Fläche, Stoffe und Wasser dar. Die modulare Vorgehensweise ermöglichte die Einbindung dieser Felder, ohne grundlegende Änderung im Modellkonzept vorzunehmen.

3.1.6.2 Iterative, agile Modellentwicklung

Nachdem bei der Konzeption identifiziert wurde, dass die erhobenen und akquirierten Daten in einem einheitlichen Datenmodell verarbeitet werden sollten, wurde ein Datenmodell entwickelt (in AP 3 und AP 4).

Dieses Datenmodel wurde so entwickelt, dass es leicht mit verfügbaren kommunalen raumbezogenen Daten umgehen kann. Trotz prinzipiell guter Datenqualität und -verfügbarkeit ist die Analyse mittels eines Webtools und aufgrund des Datenschutzes eingeschränkt. Zum Beispiel konnten soziodemografische Daten nur auf Quartiersebene aggregiert zur Verfügung gestellt werden oder Daten über kontaminierte Böden konnten nicht berücksichtigt werden, obwohl der Stadt die Daten vorlagen. Daher konnten nicht alle offiziell erfassten Daten verwendet werden. Aus diesem Grund und zu Demonstrationszwecken wurden gezielte Nacherhebungen durchgeführt, um die notwendige Datenanreicherung zu ermöglichen [4, 8]. In einem internen kommunalen Einsatzszenario können jedoch viel mehr (und sensible oder geheime) Daten berücksichtigt werden. Außerdem ermöglicht der entwickelte Ansatz eine einfache Datenintegration. Die folgenden minimalen Dateneingaben auf Grundstücks- und Gebäudeebene wurden zur Ausführung des entwickelten Modells verwendet:

- Katasterdaten, z. B. aus dem Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS®)
- Gebäude- und Infrastrukturdaten, wie z. B. CityGML-Daten der 3D-Detailstufe 2 (LOD2)
- Oberflächenbefestigungsdaten, z. B. aus Kanalisations-/Abflusswassergebührenerhebungen (Vermessung und Kartierung für die gesplittete Abwassergebühr, welche 99 % der Kommunen in Baden-Württemberg erheben)
- Daten zu Denkmalschutz, historischem Interesse oder anderen Daten zu Grundstücken/Gebäuden, die Einschränkungen für Entwicklungsaktivitäten beinhalten

- Soziodemografische Daten wie Gebäudenutzung, Eigentumsverhältnisse oder andere Volkszählungsdaten
- Administrative Gebietseinteilung oder andere für die Untersuchung relevante Untergliederungen von Regionen, z. B. Fördergebiete oder Erhebungseinheiten
- Wetterdaten zu Einstrahlung, Niederschlag, usw.

Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Daten findet sich in den Projektpublikationen [4, 6–8] und dem Ergebnisbericht [56] (vgl. 3.7). Die Verwendung von Rohsatellitendaten oder ähnlichen Rohdaten der Fernerkundung wurde nicht in Betracht gezogen, da genaue und geeignete Datensätze im städtischen Datenbestand verfügbar waren. Sollten diese nicht verfügbar sein, könnten Fernerkundungsdaten mittels etablierter Methoden zur Erstellung der erforderlichen Datensätze verwendet werden (wie z. B. in [57]).

Generell sind in Deutschland viele der verwendeten Datensätze standardisiert und werden regelmäßig auf den neuesten Stand gebracht. Dennoch muss die Aktualität der eingesetzten Daten gewährleistet sein. Was die 3D-Gebäudedaten betrifft, so bieten die LOD2-Daten die geringste Merkmalsauflösung und sind in Deutschland weit verbreitet und leicht verfügbar. Allerdings werden viele Merkmale wie Gebäudeöffnungen, Vorsprünge und andere kleine Oberflächenmerkmale von den LOD2-Daten nicht erfasst. Daher sind Begehungen des Untersuchungsgebiets, Expertenwissen und zusätzliche Datenquellen erforderlich, um diese Unzulänglichkeiten zu berücksichtigen, z. B. mittels Reduktionsfaktoren für Fensterflächen [6].

Die aggregierten Daten wurden in das in AP 3–5 beschriebene Datenbankschema verarbeitet und räumlich ausgewertet. Es wurden hauptsächlich Standard-PostGIS-Funktionen verwendet, z. B. Flächen-/Geometrieberechnung, Schnittpunkte, Differenz, Vereinigung und Pufferung. Das verfügbare 3D-LOD2 CityGML-Modell des Beispielquartiers wies jedoch Geometrieartefakte auf. Daher wurde die Freeware FZKViewer 6.3 (Build 2170) [58] verwendet, um die erforderlichen Merkmale zu ermitteln. Anschließend wurden die Ergebnisse in die entsprechenden Datenbanktabellen

eingespeist. Bis auf die vertiefende 3D-LOD2-Oberflächenanalyse wurden alle Analyseschritte in PostgreSQL/PostGIS durchgeführt.

Die primäre GIS-Analyse (durchgeführt in PostgreSQL/PostGIS) erstellt das städtische (Ober-)Flächeninventar. Diese Geometrien werden über die räumliche Verschneidung der Flurstücke ∩ Befestigungsdaten (gesplittete Abwassergebührendaten) und der räumlichen Schnittmenge der Gebäude- und Infrastruktur ∩ Befestigungsdaten erzeugt. Die jeweiligen Schnittmengen werden dann in die endgültige Datenbank als Vereinigungsmenge eingefügt. Die resultierende Datenbank besteht aus hoch granularen Daten aller Oberflächenelemente, den jeweiligen verschnittenen Geometrien und den ursprünglichen Identifikatoren der geschnittenen Daten. Anschließend werden das städtische Flächeninventar, das 3D-LOD2-CityGML-Modell und die 3D-Analyseergebnisse zusammengeführt und über räumliche Verknüpfungen (z. B. mit Flächendaten) und verwandtschaftliche Verknüpfungen (Daten zu Denkmalschutz und Erhaltungsinteressen usw.) weiter angereichert. Diese Analysen ergaben mehrere grundlegende Oberflächeneigenschaften.

Die Ergebnisse der GIS-Analysen wurden zur Lokalisierung der jeweiligen Potenziale für die neun Maßnahmen ($t \in T$={erg, irg, uprg, rmpv, pvrg, gbfg, wbfg, fmpv, sdg}; siehe unten, Abbildung 4 und Arbeitspaket 7 (3.1.8)), genutzt, die auf der Ebene der einzelnen Oberflächenelemente berechnet wurden. So können verschiedene Aggregate definiert werden, d. h. von einem einzelnen Oberflächenelement eines Gebäudes oder eines Hinterhofs bis hin zu Gebäuden, Gebäudeblöcken, Stadtvierteln oder anderen Aggregationsmengen.

Modellierte Maßnahmen (detaillierte Beschreibungen sind in [6] angegeben):

- Extensive Dachbegrünung (*erg*): Dachbegrünung mit 10 cm Substratstärke, kurzem Gras oder Sedum-Pflanzen;
- Intensive Dachbegrünung (*irg*): Oberflächennahe Dachbegrünung mit >25 cm Substratstärke, Gras und krautigen Pflanzen (im Verhältnis 1:1);

- Tiefgaragendachbegrünung (*uprg*): Dachbegrünung mit >35 cm Substratstärke, Gras, krautigen Pflanzen und kleinen Laubbäumen (im Verhältnis 2:1:1);
- Dach-Photovoltaik (*rmpv*): Installation von Photovoltaik-(PV)-Modulen;
- Photovoltaik und Dachbegrünung (*pvrg*): Installation von monokristallinen Solarmodulen und Dachbegrünung mit 10 cm Substratstärke, kurzem Gras oder Sedum;
- Fassadenbegrünung am Boden (*gbfg*): Pflanzung von Kletterpflanzen, Pflanzen mit und ohne Kletterhilfe;
- Wandgebundene Fassadenbegrünung (wbfg): Vorgefertigte Vegetationselemente/Matten, kurzes Gras oder krautige Pflanzen;
- An der Fassade montierte Photovoltaik (fmpv): Installation von PV-Modulen;
- Bodenentsiegelung/Hausgarten (*sdg*): Entsiegelung und grundstücksspezifische Mehrfachnutzung von durchlässigem Pflaster, teilweise begrünten Gittern (im Verhältnis 1:1 Kurzrasen, undurchlässig) und Hausgartenflächen (im Verhältnis 1:1:1 Gras, Stauden und Laubbäume) auf einem Grundstück.

Mit Ausnahme der Bodenentsiegelung/Hausgarten (*sdg)* handelt es sich bei allen Maßnahmen um einkomponentige Maßnahmen. Sie sind daher einheitlich und berücksichtigen keine Unterteilungen des betrachteten Flächenelements. Im Falle von *sdg* sind verschiedene Oberflächenabdeckungen und Unterteilungen von Flächen denkbar und ermöglichen Mehrfachnutzungskonfigurationen innerhalb einer Parzelle/ eines Flurstücks. Die Konfiguration hängt von der aktuellen Nutzung der identifizierten Fläche ab, wie z. B. für Parkplätze, Durchgänge oder Nutzflächen (z. B. für Fahrradabstellplätze, Notbereiche, Rettungswege oder Abfallbehälter). In den Katasterdaten wird die aktuelle Nutzung anhand der Nutzungsart und der Gebäudeteilklassifizierung ermittelt. Der Mindestbedarf für eine Mehrzweckkonfiguration wird anhand der aktuellen Nutzung oder der Anzahl der Wohnungen/Einheiten, die dem Grundstück zugeordnet sind, geschätzt (≤5 Einheiten: 20 m^2; >5 Einheiten: 30 m^2, für Porenpflaster).

Für das technische Potenzial ist jede Maßnahme mit einem Satz von Indikatoren, Einschränkungen und Reduktionsfaktoren verknüpft (siehe [6]). Die Einschränkungen sind maßnahmenspezifisch und werden durch die technischen Umsetzungs- und Betriebseigenschaften in Bezug auf die Elementauswahl festgelegt. Die Reduktionsfaktoren wurden durch Ortsbegehungen, Erfahrungswissen und Expertenwissen bestimmt.

Das wirtschaftliche Potenzial (siehe Abschnitt 3.4 in [6]) basiert auf dem technischen Potenzial. Szenarioüberlegungen geben hier die Auswahl bzw. den Bewertungsumfang vor, z. B. den Maßnahmenmix oder bestimmte Aggregate wie öffentliches oder privates Eigentum.

Die Indikatoren wurden entsprechend den Anforderungen der Fallstudie zusammengestellt, die die Berücksichtigung der Ressourcen Fläche, Wasser, Materialflüsse, Ökosystemleistungen und Energie erforderte. Die vorgestellten Bewertungen umfassen eine Reihe von entwickelten und ausgewählten Indikatoren, die in Tabelle 8 bis Tabelle 10 zusammengefasst sind.

Berechnungen und Bewertung

Einheitliche Berechnungen und Bilanzierungsgleichungen stellen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Maßnahmen sicher. Für die Maßnahmenmenge (T) sind die Maßnahmengrößen die effektiven Maßnahmenflächen (e_{ma} , Gleichung 1). Diese effektive Fläche wird ermittelt, indem von der Fläche des betrachteten städtischen Flächenelements (e_a) über flächen- (s) und maßnahmentypabhängige (t) Reduktionsfaktoren (Hindernisse $r_{obs}^{s.t}$, Verschattung $r_{sh}^{s.t}$, und Nutzungsfaktor $r_{util}^{s.t}$, siehe Tabelle 6 in [6]) und nicht nutzbare Flächen abgezogen werden. Die Auswahl $\sigma\, \varphi\, (E)$ bestimmt die geeigneten Flächenelemente $e \in E$ (gemäß Tabelle 5 in [6]). Diese effektive Maßnahmenfläche stellt die geschätzte Fläche auf einem Element dar, die potenziell von der Maßnahme eingenommen werden könnte, und ist der wichtigste Bezugswert für die Bewertungen.

Gleichung 1

$$e_{ma} = \begin{cases} e_a * \prod_M r_m^{s,t} & , \quad if \quad \prod_M r_m^{s,t} \neq \{\} \quad \forall \quad r \in R \setminus \{1\} \\ e_a & , \quad if \quad \prod_M r_m^{s,t} = \{\} \quad \forall \quad r \in R \setminus \{1\} \end{cases}$$

Für die wirtschaftliche Bewertung wurden empirische Investitions-/Kapitalausgaben (CAPEX) und Instandhaltungs-/Betriebsausgaben (OPEX) aus verschiedenen Quellen wie Leitfäden, Experteninterviews und Kostendatenbanken [9, 59–66] analysiert. Die CAPEX-Daten umfassen alle Kosten bis zur Fertigstellung (z. B. Entsiegelung, sonstige Arbeiten und Abschlussarbeiten). Die OPEX-Daten umfassen die jährlichen Wartungs- und Pflegekosten (ohne Bewässerung). Eine wichtige Anforderung war die Berücksichtigung des Umfangs der Umsetzung (Größe der Maßnahme), um Effekte wie Größendegression zu berücksichtigen und zwischen fixen und variablen Kostenkomponenten zu unterscheiden. Für alle Maßnahmen, mit Ausnahme der PV-Anlagen auf Dächern, wurde der e_{ma}-Wert als Referenzwert für die wirtschaftliche Bewertung verwendet. Die nominale Installationskapazität (cap_t) wurde für PV-Anlagen herangezogen und ist abhängig von der effektiven Fläche der Maßnahme (e_{ma}) und der Effizienz der Standardtestbedingungen (r_{tpv}) (Gleichung 2).

Gleichung 2

$$cap^t = e_{ma}^t * r_{pv}^t \quad \forall \quad t \in \{rmpv, fmpv\}$$

Die CAPEX-Berechnung (Gleichung 3) hat drei Fälle, während die OPEX-Berechnung (Gleichung 4) in zwei Fälle unterschieden wird. Im $rmpv$-Maßnahmenfall wurde der CAPEX-Wert mit einer technologie-/materialabhängigen (t) fixen Komponente ($c_{inv,fix}^{t,cs}$) und einer variablen Komponente ($c_{inv,var}^{t,cs}$) berechnet, die von der Anlagennennleistung ($cap^{t,cs}$) in kW_{peak} abhängt. Der $fmpv$ CAPEX ist abhängig von der Flächengröße. Die flächengrößenspezifischen Raten waren abhängig von der Anlagennennleis-

tung. Für die Bodenentsiegelung/-begrünung (sdg), die extensive Dachbegrünung *(erg)*, die intensive Dachbegrünung *(irg),* die Tiefgaragendachbegrünung *(uprg),* die bodengebundene Fassadenbegrünung *(gbfg)* und die wandgebundene Fassadenbegrünung *(wbfg)* wurden hauptsächlich flächendiskrete Gesamtkosten gefunden, die eine Bewertung der umsetzungsflächenabhängigen CAPEX bzw. OPEX nicht ausreichend zuließen. Daher wurden aus den analysierten empirischen Daten einzelne flächenspezifische Anpassungsfunktionen abgeleitet (Abbildung 16). Die Funktionen in Abbildung 16 wurden zur Berechnung von CAPEX und OPEX auf der Grundlage von Kosten für Umsetzungsflächen von 20 m^2 als Basiswert, verwendet (außer für Bodenentsiegelung/Begrünung *sdg*, wo sich der Basiswert auf Umsetzungsflächen von 500 m^2 bezieht). Die Exponentialfunktionen wurden mittels nicht linearer Regression mit einer hohen Gewichtung für Beobachtungen in der Nähe des Basiswertes hergeleitet. Diese Funktionen geben flächenabhängige Faktoren in Prozent für die Umrechnung flächenspezifischer Kosten für Umsetzungsflächen zwischen 0 und 5000 m^2 aus.

Die Funktionen nutzen die CAPEX- und OPEX-Berechnung für jede Maßnahme als $f^t_{adap,CAPEX}$ oder $f^t_{adap,OPEX}$ in Gleichungen (Gleichung 3 und Gleichung 4). Die Ergebnisse dieser Analysen sind in AP7 (3.1.8) und in Abbildung 16 zusammengefasst. Details über die Parameter sind in der begutachteten Publikation Naber et al. [6] angegeben. Je nach Basisjahr der Daten wurden der Preisindex für das Baugewerbe und der regionale Preisindex zur Anpassung an das aktuelle Jahr und die betreffende Region verwendet. Für das Untersuchungsgebiet wurden die Werte für Karlsruhe übernommen.

Gleichung 3

$$CAPEX = \begin{cases} \sum_{cs=1}^{CS} \left(c_{inv,fix}^{t,cs} + c_{inv,var}^{t,cs} * cap^{t,cs}\right) \quad \forall \quad t \in \{rmpv\} \\ \sum_{cs=1}^{CS} \left(-5 \ \ln \ (cap^{t,cs}) + c_{inv,base}^{t,cs}\right) * e_{ma}^{t,cs}\right) \quad \forall \quad t \in \{fmpv\} \\ \sum_{cs=1}^{CS} \left(c_{inv,base}^{t,cs} * f_{adap,CAPEX}^{t}\left(e_{ma}^{t,cs}\right) * e_{ma}^{t,cs}\right) \quad \forall \quad t \in T \setminus \{rmpv, fmpv\} \end{cases}$$

Für die OPEX wurde ein ähnliches Verfahren angewandt (Gleichung 4). Für die PV-Flächen wurde ein prozentualer Anteil der jeweiligen CAPEX angesetzt. Alle anderen jährlichen OPEX-Kosten wurden mit einer von der effektiven Fläche (e_{ma}) abhängigen Funktion (Abbildung 16). Hinsichtlich des Anpassungsfaktors für die OPEX für sdg wurde die Funktion von $uprg$ verwendet, da eine ähnliche Kurve angenommen wurde.

Gleichung 4

$$OPEX = \begin{cases} CAPEX * c_{cost,maint}^{pv} \quad \forall \ t \ \in \{rmpv, fmpv\} \\ c_{cost,maint}^{t,cs} * f_{adap,OPEX}^{t}\left(e_{ma}^{t,cs}\right) * e_{ma}^{t,cs} \quad \forall \ t \ \in T \setminus \{rmpv, fmpv\} \end{cases}$$

Weitere ökonomische Kapitalflüsse (cf) wurden für Gewinne aus dem Verkauf oder Verbrauch von PV-Strom Q_{el} (Gleichung 5–Gleichung 7) oder für reduzierte Entwässerungsgebühren (Gleichung 8) berechnet. Bei der Stromerzeugung durch PV ergaben sich die Zahlungsströme aus Einsparungen durch Eigenverbrauch von angenommenen 30 % des Stromertrags (Gleichung 6) und 70 % Netzeinspeisung (Gleichung 7).

Gleichung 5

$$Q_{el} = e_{si,annual} * e_{ma} * r_{pv}^{t} * r_{pr}^{t} \quad \forall \quad t \ \in \{rmpv, fmpv\}$$

Gleichung 6

$$cf_{self-consumption} = Q_{el} * c_{sc}^{pv} * c_{cost,el}^{grid} \;\; \forall \;\; t \; \in \{rmpv, fmpv\}$$

Gleichung 7

$$cf_{feed-in} = Q_{el} * (1 - c_{cost,sc}^{pv}) * c_{cost,el}^{feedin}(kWp) \;\; \forall \;\; t \; \in \{rmpv, fmpv\}$$

Gleichung 8

$$cf_{drainage\ charge} = e_a^{t,s} * c_{cost,fee}^{surface\ runoff} * ind_{factor\ drainage\ charge}^{t,s} \;\; \forall \;\; t \in \mathrm{T}$$

Zusätzlich wurden gemäß den Anforderungen der Szenarien zwei Förderprogramme in Anlehnung an das Förderprogramm im Untersuchungsgebiet umgesetzt und bewertet (siehe auch AP7 (3.1.8)).

Die Eingangsparameter für die technische und ökologische Bewertung basierten auf empirischen Beobachtungen, Maßnahmen- oder Produktdatenblättern, Normen, Richtlinien oder wissenschaftlichen Studien (Tabelle 8 und Tabelle 9 in [6]). Auch hier ist die primäre Bezugseinheit die effektive Maßnahmenfläche (e_{ma}), außer bei Maßnahmen mit PV, bei denen energiebezogene Erträge (z. B. Luftschadstoffminderung) die Bezugseinheit der erzeugten Energie in kWh verwenden. Für alle Maßnahmen ohne PV sind die Indikatoren die Ergebnisse der Multiplikation der effektiven Fläche einer Maßnahme und der verbleibenden Elementfläche mit den Indikator-Eingabeparametern für die Maßnahme und den Ausgangszustand (Verhältnisindikatoren werden auf die Fläche normiert). Für PV werden die Luftschadstoffe und die energetischen Erträge mit dem Energieertrag anstelle der Fläche berechnet. Die Werte für den Ausgangszustand sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Dieser vereinfachte Bewertungsansatz wird verwendet, um die Eingabeanforderungen vergleichbar und überschaubar zu halten. Außerdem waren detaillierte Simulationen aufgrund fehlender Daten oder der Anforderungen an die Rechenleistung nicht möglich. Beides gilt z. B. für raum-zeitliche Simulationen der städtischen atmosphärischen Dynamik zur Quantifizierung der städtischen Wärmeinsel).

Bei allen Maßnahmen mit Ausnahme von $gbfg$ wurde davon ausgegangen, dass sie zum Zeitpunkt der Umsetzung vollständig abgeschlossen sind. Bei $gbfg$ wuchs die Fassadenbegrünung bis zur Größe der Umsetzungsfläche mit einer jährlichen Wachstumsrate von $\frac{2{,}5m^2}{a}$ pro Pflanze. Zudem wurde für jede 4 m Fassadenbreite eine Pflanze angenommen (in Anlehnung an [9]).

Bei Begrünungsalternativen mit begrenztem Biomassenwachstumspotenzial (begrenzt durch die verfügbare Fläche und die Substratdicke) wurde davon ausgegangen, dass sie ein fixes Gesamtpotenzial für die CO_2-Speicherung haben. Im Gegensatz dazu lieferten die Bäume der sdg-Maßnahme im Laufe der Zeit CO_2-Bindungspotenziale. Daher hatten alle Begrünungsalternativen mit Ausnahme von sdg eine fixe CO_2-Bindung, und sdg hatte ein zusätzliches jährliches CO_2-Minderungspotenzial von 10 $\frac{\text{kg}}{Baum\ a}$ (basierend auf [67] und Eiche 0–20 Jahre mit 1000 Bäumen pro ha). Für die Analyse und für $gbfg$ wurde die CO_2-Bindung der vollständig bedeckten Potenzialfläche berücksichtigt. Die Minderung von Luftschadstoffen wurde auf der Grundlage der Modellierung von Yang et al. [68] berechnet. Die Evapotranspiration wurde nach Harlaß [69] mit einem Jahresniederschlag von 816 $\frac{\text{mm}}{a}$ (für das Fallstudiengebiet und basierend auf [18]) ermittelt. Der Regenabfluss wurde nach der Norm DIN 1986 [10] berechnet. Der Ecoscore ist eine aus der deutschen Umweltverträglichkeitsprüfung stammende Metrik, die Biotope nach ihren Ökodienstleistungen bewertet. Für das Projekt modifizierten Boehnke et al. [8] das verwendete Scoring, um die Biotop- und Habitatqualität und die Häufigkeit des Vorkommens in urbanen Zentren zu berücksichtigen. Der Biodiversitätsindikator spiegelt die Wirkung auf die Fauna wider (basierend auf [9]). Die Stromgestehungskosten (LCOE) wurden für alle Maßnahmen mit PV (Gleichung 9), für i=0,05, und eine lineare Abschreibung für den Restwert der Anlagen auf der Grundlage einer Nutzungsdauer von 25 Jahren und für T=20 Jahre berechnet.

Gleichung 9

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^{T} \frac{CAPEX + OPEX - residual\ value}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^{T} \frac{Q_{el}}{(1+i)^t}}$$

Die Modellentwicklung wurde kontinuierlich getestet. Diese Tests umfassten die Funktionalität, Validierung, Leistungsfähigkeit und Vergleich verschiedener Ansätze (auch Teil von AP 7, 8, 9 und 10).

3.1.6.3 Verknüpfung des Modells mit den in AP 3 und AP 4 aufgebauten Datenbanken und der Benutzeroberfläche (AP 6) sowie deren Darstellung

Wie in den AP 3, 4 und 5 beschrieben, wurde eine zentrale Datenbank konzipiert und aufgebaut. Des Weiteren wurde mittels der PostGIS-Erweiterung zu PostgreSQL-basierten Datenbanken ein Analyseansatz gewählt, welcher nahtlos an die Datenbank angebunden ist. Somit war die Verknüpfung dieser Datenbank integraler Bestandteil der Modellierungsphase und erfolgte durch die Skriptsprache SQL. Die Überführung des Modells in die prototypische Webanwendung mit Benutzeroberfläche konnte ebenso direkt angeknüpft werden (siehe AP 6 (3.1.7)). Eine wesentliche Herausforderung der Anknüpfungen war die Handhabung hunderter Ergebnisparameter, welche zwar in der Modellierung und Ergebnisgenerierung äußerst relevant sind, aber für Endanwender/-innen nur eine dichte Schicht von Komplexität darstellt. Die sinnvolle Reduzierung der Ergebnisparameterdichte und -darstellung wurde im Konsortium diskutiert und durchgeführt (siehe die nächsten Abschnitte). Trotz guter Datenqualität ist die Darstellung von Ergebnissen durch den Datenschutz eingeschränkt (z. B. konnten für die Analyse soziodemografische Daten nur aggregiert auf Quartiersebene zur Verfügung gestellt werden; Daten über Altlasten konnten auch nicht berücksichtigt werden). Somit konnten nicht alle offiziell erfassten Daten verwendet werden. Die Darstellung der Daten und Ergebnisse der Analysen in der Benutzeroberfläche wurde seitens der Stadt

Karlsruhe geprüft und bei angemeldeten Bedenken aus der Darstellung ausgeschlossen.

3.1.7 Implementierung einer Benutzeroberfläche für Quartiersmanager und Bürger zur Informationsaufbereitung, Monitoring und Entscheidungsunterstützung (AP 6)

Anwendungsbereiche und Funktionsumfang

Auf Basis der in der Webanwendung vorliegenden Datenauswertung erhalten Stadt- und Fachplaner/-innen eine solide sowie wissenschaftlich fundierte Übersicht über potenziell durchführbare Ressourceneffizienzmaßnahmen, deren Wirkungsweisen und Wirkzusammenhänge in den unterschiedlichen Handlungsfeldern/Ressourcen und Teilbereichen (Boden, Dächer, Fassaden) des betrachteten Stadtquartiers Karlsruhe Innenstadt-Ost.

Einblick in den abschließenden funktionellen Stand der Implementierung:

- Status-Monitoring der Indikatoren im Kontext der Handlungsfelder, Teilbereiche und Maßnahmen: Zustandsbeschreibungen der wesentlichen Indikatoren der Teilbereiche Böden, Dächer und Fassaden, in denen die Ressourceneffizienz-Maßnahmen durchgeführt werden, sind in den Auswertungsbereichen unter „Bestand“ implementiert.
- Maßnahmen-Monitoring: Die ausgesuchten Potenzial-Indikatoren bei ganzheitlicher Durchführung aller Maßnahmen sind in die Auswertungsbereiche unter „Potenzial“ eingegliedert und können dort nach einheitlicher Ordnungsstruktur hinsichtlich ihrer Auswirkungen u. a. auf die betrachteten Ressourcen sowie auf verschiedenen Betrachtungsebenen/-tiefen bewertet werden
- Bottom-Up-Aggregation: Strukturell setzt die Anwendung auf den Flurstücken als niedrigste Betrachtungsebene auf. Durch die Verknüpfung der Flurstücke zu den hierarchisch höheren Aggregationsebenen (Bau-

blöcke, Gesamtgebiet) innerhalb der Datenbank können Ergebnisse dynamisch auf allen gegebenen Ebenen dargestellt und ausgewertet werden.

- Bürgerdienst: Von der Erstellung einer flurstücksscharfen Version für Bürger/-innen musste aus datenschutzrechtlichen Gründen Abstand genommen werden.
- Eigenständiger Kartendienst zur Kartendarstellung von Bestands- und Potenzial-Indikatoren für die unterschiedlichen Maßnahmen: Ausgesuchte Bestands- und Potenzialindikatoren wurden in den Kartendienst zur detaillierten georeferenzierten Darstellung übertragen. Der Kartendienst ist analog zu den Auswertungsbereichen nach Teilbereichen und Maßnahmen in Bestand und Potenzial untergliedert. Zusätzlich wurden die vom AGW erhobenen Biotopdaten (differenziert nach den vorhandenen Biotoptypen) sowie der Baumbestand implementiert und georeferenziert abgebildet.

Auf einen Klick können im Kartendienst spezifisch pro Typ und Aggregat hinterlegte Attribute abgefragt werden.

- Datenimport/-export: Der Datenimport ist über den Austausch zwischen IIP und SG sichergestellt und kann auch in Form von Datenbankauszügen und Shapefiles zur Weiterverwertung durch die Stadt gezielt und bedarfsgerecht erfolgen. Der Datenexport für Anwender/-innen aus der Anwendung selbst sollte abschließend über eine PDF-Funktion erfolgen. Das konnte jedoch aus Mangel an Kapazitäten nicht mehr wie vorgesehen zum Projektabschluss realisiert werden, da der Fokus in der Projekt-Endphase auf der Evaluierung der Ergebnisse, der weiteren Übertragung noch nicht verwerteter, aber seitens des Projektverbunds als relevant bewerteter Indikatoren in die Anwendung und auf der generellen Harmonisierung der Anwendung mit den weiteren Projektergebnissen lag.
- Entsiegelungsrechner: Neben der datenbasierten „Auswertung" erhalten AnwenderInnen zusätzlich auch ein Rechner- und Zeichenmodul,

den sogenannten „manuellen Entsiegelungsrechner“. Damit sind explizit für die Maßnahme Hinterhofentsiegelung im Teilbereich Boden manuelle Anpassungen der verschiedenen Boden-Oberflächen für Potenzial-Berechnungen in ausgesuchten Gebieten möglich. So können beispielsweise mögliche Datenlücken geschlossen werden und Erkenntnisse aus Vor-Ort-Begehungen in die Berechnungen mit einfließen oder Abgleiche mit alternativen Datenerhebungen vorgenommen und somit eine praktische Evaluierung der vorberechneten Potenzialauswertung durchgeführt werden. Im Rechnermodul können auch einfache Zielszenarien skizziert/entworfen werden, um Auswirkungen veränderter Rahmenbedingungen oder möglicher Neugestaltungen provisorisch besser abschätzen zu können.

- Mit dem optionalen Schritt der Biotopkartierung in zehn Kategorien können so auch die Auswirkungen verschiedener Biotopgestaltungen auf den Ökoscore bewertet werden.
- Editierung einzelner Attribute: Im Zuge der manuellen Berechnung im „manuellen Entsiegelungsrechner“ durch die Benutzer/-innen ist u. a. auch die Bearbeitung/Veränderung von Objekt-Geometrien der Befestigungsarten möglich.
- Manuelle Berechnungen: Manuell erfolgte Berechnungen werden in einer Maßnahmenliste ergänzend gespeichert und können jederzeit weiterbearbeitet werden, ohne die vorberechneten Ergebnisse zu verändern.
- Massenberechnungen: Per „Filter“ lassen sich mehrere Flurstücke nach ausgesuchten Kriterien gemeinsam auswerten.
- Vergleiche von Indikatoren bei gleichen Skalen: Für alle Potenzialermittlungen wurden Eignungsklassen definiert und über die Kartendarstellung visualisiert.
- Digitalisieren/Einzeichnung vorhandener Flächen vom Luftbild – siehe dazu auch „manueller Entsiegelungsrechner“.

Integrierte Themen und Indikatoren

- In der Webanwendung abgebildete Ressourcen/Handlungsfelder sind Wasser, Fläche, Stoffströme und Ökosystemleistungen bzw. Biotope.
- Untersuchter Teilbereich für den potenziellen Maßnahmeneinsatz der Hinterhofentsiegelung ist „Boden“; in den weiteren Teilbereichen „Dächer“ und „Fassaden“ werden die extensive und intensive Dachbegrünung, die wand- und bodengebundene Fassadenbegrünung sowie die energetische Nutzung auf ihre Maßnahmenpotenziale hin ausgewertet.
- Für die im Teilbereich Boden eingegliederte Maßnahme „Hinterhofentsiegelung“ werden die mögliche technische Flächennutzung (Maßnahmenfläche), die potenziellen Kosten sowie die Aus- und Wechselwirkungen auf die o. g. Ressourcen bilanziell ausgewertet. Gebündelt in thematische Abschnitte finden sich die wesentlichen Potenzial-Indikatoren zur Flächenbilanz, zu Umwelteffekten, zur Stoffbilanz, zu Kosten und möglicher Förderung sowie zur Wasser- und zur Biotopbilanz.
- Die weiteren Maßnahmen wie „Dach- und Fassadenbegrünung“ sowie die Installation von „Photovoltaik-Anlagen“ wurden in analoger Struktur in die Auswertungsbereiche der Teilbereiche „Dächer“ und „Fassaden“ und den Kartendienst eingegliedert.

3.1.7.1 Konzeptionierung IT-Architektur (IT), Datenbank (DB), Benutzeroberfläche (UI)

IT-Server- und Basisinfrastruktur – Verwendete Software und Programmiersprachen

Die Umsetzung der Methodik sowie die benötigte Anwendungsinfrastruktur und Funktionspalette wurden vollständig mit zeitgemäßer und standardkonformer „Open Source“-Technologie/-Software realisiert. Das Zusammenspiel der serverseitigen Skriptsprache PHP und einer objektrelationalen Datenbank (PostgreSQL) mit PostGIS-Erweiterung für geografische Funktionen stellte eine flexible Entwicklung der Web-Anwendung sicher, die auf sich verändernde Anforderungen entsprechend angepasst werden kann. Des Weiteren kann die

Anwendung so prinzipiell für künftige Projektgebiete reproduziert werden, ohne dass Lizenzgebühren an Dritte anfallen.

Back-End-Technologien

Serverseitig sind die Daten in einer räumlichen Datenbank hinterlegt (siehe AP 3–5). Das ermöglicht eine zentrale Datenhaltung. Diese liefert die Grundfunktionalitäten zur Datenverwaltung sowie zur Analyse der Geodaten. Zum Zwecke der Reproduzierbarkeit sind sowohl Daten als auch Methodik mittels einer Container-Virtualisierung durch „Docker“ aufgebaut, welche auch das Umziehen der Anwendung auf andere Server ermöglicht.

Die Anwendungslogik wird mit dem PHP-Framework „Laravel“ realisiert und über einen Apache-Webserver online bereitgestellt. Die folgenden Versionen kommen dabei zum Einsatz:

- Linux Server Debian 10 – Buster v16.04
- Docker Containervirtualisierung v19.03.6
- PostgreSQL v13
- PostGIS v3
- Apache v2.4.38
- PHP v7.1.30
- Laravel Framework v9

Front-End-Technologien

Klientseitig kommen neben den allgemeinen Frontend-Technologien HTML, Javascript und CSS verschiedene weitere Bibliotheken und APIs zum Einsatz. Zur Darstellung und Verarbeitung der räumlichen Daten sind neben „O-penLayers“ auch weitere Plugins im Einsatz, welche z. B. eine angemessene und individuelle Visualisierung ermöglichen.

Andere Bibliotheken ermöglichen z. B. eine optisch einheitliche Darstellung u. a. mittels Farbskalen, Piktogrammen und Diagrammen im Rahmen der Auswertung und damit eine einfache visuelle Interpretation der Ergebnisse.

Für die Erstellung der grafischen Benutzerfläche (GUI) der Webanwendung wird das CSS-Framework Bootstrap in der Version 4 eingesetzt. Die erforderlichen Komponenten für die NaMaRes-Webanwendung und deren Darstellung auf allen Endgeräten sind technisch und grafisch konsistent umgesetzt und können für die weitere Anwendungsentwicklung in der Projektverstetigungsphase wiederverwendet und bei Bedarf einfach erweitert und individuell angepasst werden. Die folgenden Versionen kommen dabei zum Einsatz:

- Javascript Bibliotheken und APIS
- Openlayers v6.3.1 (zur Darstellung von Geodaten im Webbrowser)
- Ol-ext v3.1.12
- JQuery v3.3.1
- ChartJS v2.9.3 (zur Darstellung von Diagrammen)
- Plugin Chart Annotation v0.5.7
- Proj4 v2.3.15
- Turf.js v6.3.0

Ein SSL-Zertifikat garantiert die Erreichbarkeit via HTTPS. Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) ist das zeitgemäße Kommunikationsprotokoll im Internet, mit dem Daten abhörsicher übertragen werden können.

3.1.7.2 Visualisierung und Zugriffsrechte

Nach systematischer Auseinandersetzung mit den im Projektverlauf präsentierten und gelieferten Zwischenständen der Projektpartner (v. a. das methodische Vorgehen des IIP), haben wir uns im Verbund für die komplette Neuentwicklung einer eigenständigen NaMaRes-Webanwendung entschieden. So konnte mittels der Entwicklungsmethode „Prototyping", bei der man sich Schritt für Schritt verbessernd dem projektabschließenden Prototypen/Produkt angenähert hat, eine vollumfänglich zielgerichtete und trotzdem

flexible Lösung entwickelt werden, nicht nur hinsichtlich Themenzugang, Übersichtlichkeit, Erweiterbarkeit und einer einfachen Benutzbarkeit für technisch auch unbedarfte Neu-/Erstanwender/-innen, sondern auch hinsichtlich der späteren einfacheren Übertragbarkeit auf andere Kommunen.

Das Design der Anwendung wurde im Sinne eines einheitlichen NaMaRes-Projektauftretens individuell gestaltet. Erste Gestaltungsansätze wurden in Rahmen eines Plakatentwurfs für die „BEYOND2020 – World Sustainable Built Environment Conference, June 9–11 2020, Göteborg, Sweden" erstellt und im weiteren Verlauf in Form von ersten Mockups (maßstäbliche grafische Layouts zu Präsentationszwecken) zwischen SG und IIP begutachtet sowie bei den Projekttreffen präsentiert. Für ein gutes Benutzererlebnis und bedingt durch die Anforderung, verschiedenen Akteur/-innen und Benutzer/-innengruppen insgesamt gerecht zu werden, setzt die Webanwendung auf eine konsistente, zeitgemäße und reduzierte Gestaltung aller Anwendungsbereiche und auf eine mehrstufige Informationsarchitektur.

Hinsichtlich der zeitgemäßen und benutzerfreundlichen Benutzeroberfläche (GUI) konnte auch durch den Einsatz von AJAX-Technologie eine flüssige und haptisch ansprechende Lösung entwickelt werden, wodurch neben einem angenehmen Nutzererlebnis v. a. auch eine gute und schnelle Vergleichbarkeit z. B. von Ergebnissen zu Flurstücken gewährleistet ist. Ein/e Anwender/-in hat so das Gefühl, mehrere Arbeitsschritte im Zusammenhang flüssig durchführen zu können. „Permalinks“, also eigenständige Seiten, die je ein komplettes Neuladen erfordern und dadurch den Nutzungsprozess aufhalten, wurden nur für die Abbildung der zentralen Seiten bzw. für in sich geschlossene eigenständige Anwendungsbereiche (Startseite, Auswertungsbereiche, manueller Rechner und Kartendienst) eingesetzt.

Nach dem Prinzip des „iterativen“ prototypischen Entwicklungsprozesses erfolgte über den Projektverlauf eine fortlaufende Erstellung, Optimierung und Weiterentwicklung der bestehenden Ergebnisse und Einheiten. Inhalte und unmittelbar notwendige Funktionalitäten wurden so nach und nach bedarfsgerecht prototypisch entwickelt und schrittweise in Absprache verbes-

sert. Als erster Testcase wurde die Maßnahme „Hinterhofentsiegelung“ im Teilbereich Boden herangezogen. Ein enger Austausch mit dem KIT sowohl bei der Datenbank-Konzeption und der gegenseitigen Aufgabenverteilung erfolgte fortlaufend. Das Ziel, damit eine belastbare und übertragbare Vorlage für die Implementierung der weiteren Teilbereiche Dächer und Fassaden sowie die weiteren Maßnahmen zu entwickeln, hat sich rückblickend bewährt.

Eine Rechte- und Nutzer/-innenverwaltung besteht rudimentär. Somit kann individuell und passwortgeschützt Zugang zu allen Funktionen gewährt werden. Im Zuge der RES:Z-Abschlusskonferenz im Mai 2022 in Frankfurt wurde eine funktionell und inhaltlich abgespeckte Version für eine/n Testnutzer/-in zur Verfügung gestellt, in dem die Flurstückebene aus datenschutzrechtlichen Gründen ausgeblendet wurde. Weitere Rollenunterscheidungen für verschiedenen Nutzergruppen/-typen wurden bis dato nicht vorgenommen, könnten aber prinzipiell sein:

- Kommunale/r Entscheider/-in (Administrator/-in – alle Rechte + Nutzerverwaltung)
- Operator/-in/Quartiersmanager/-in (Anwender/-in/Bearbeiter/-in – schreibender Zugriff)

Kurzbeschreibung / Benutzeroberfläche der Webanwendung: Die Anwendung gliedert sich in die zwei Hauptbereiche „Auswertung“ (Dashboard-Charakter) und „Kartendienst“. Darüber hinaus existiert ein an die Auswertung des Teilbereichs Boden angeschlossenes „Rechner-Modul“ für die Maßnahme Hinterhofentsiegelung, in dem manuelle Anpassungen an den vorberechneten Ergebnisse vorgenommen werden können. Von der Startseite der Anwendung (Abbildung 8), auf die man nach Login mit personalisierten Zugangsdaten gelangt, kann man maßnahmenorientiert direkt in die **Auswertung** der einzelnen Teilbereiche Boden, Dächer und Fassaden sowie in den zentralen Kartendienst einsteigen.

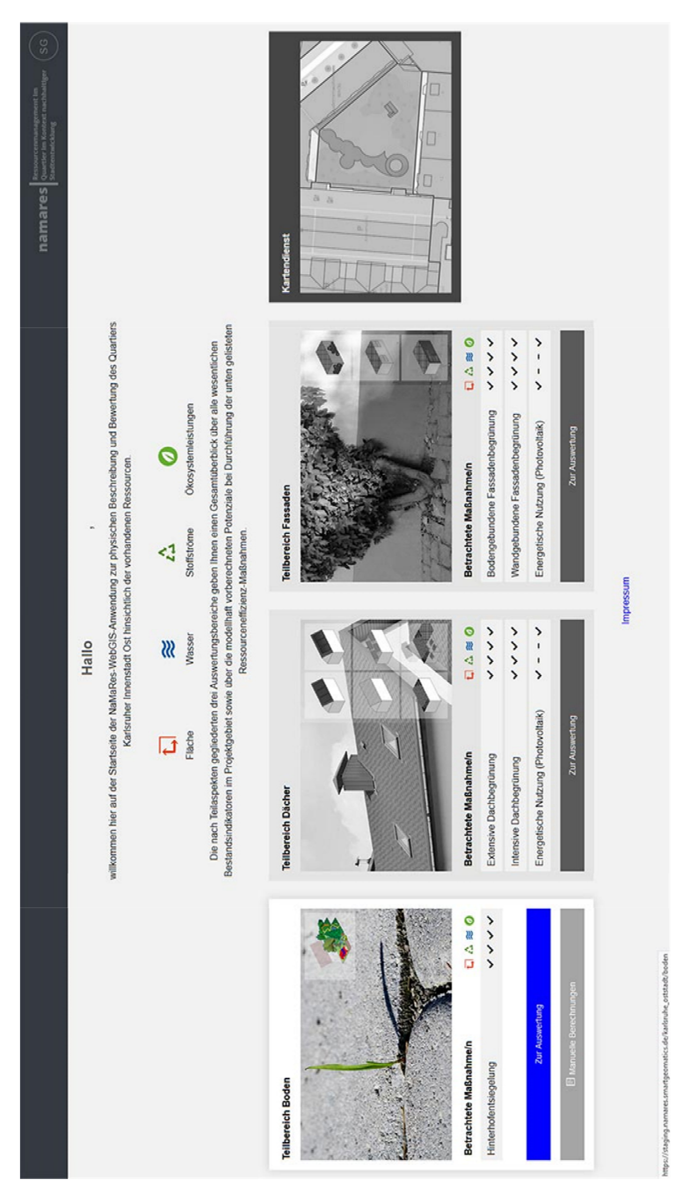


Abbildung 8: Startseite der Webanwendung – zentraler Einstieg in die verschiedenen Anwendungsbereiche.

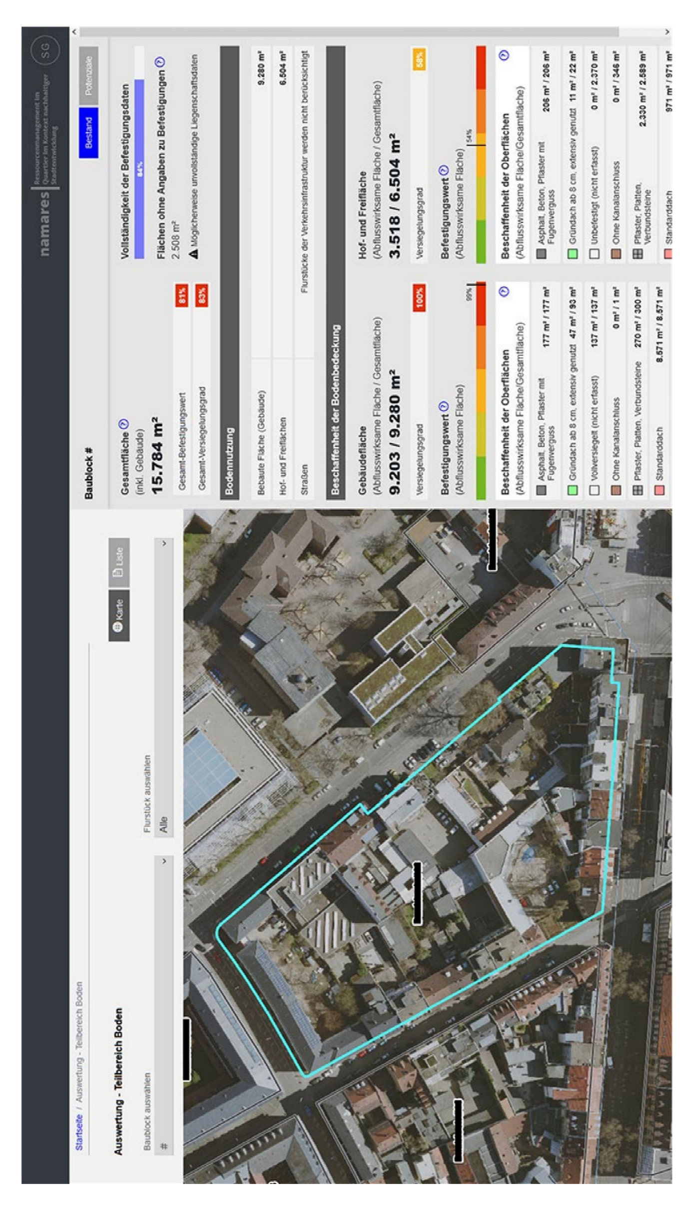


Abbildung 9: Auswertung „Kartenansicht“ – Bestandsübersicht Handlungsfeld Boden.

Das Gesamtgebiet, innenliegende Baublöcke und Flurstücke können in der Auswertung übersichtlich betrachtet und analysiert werden – klar differenziert nach **Bestand und Potenzialen** (Abbildung 9 und Abbildung 10). Sowohl per **Karten- als auch per Listenansicht** (Abbildung 10 und Abbildung 11) lassen sich Zielgebiete (z. B. Flurstücke) aussuchen und eingrenzen, wechseln, sowie einzeln oder aggregiert auswerten. Die Listenansicht bietet in Tabellenform bereits eine erste Übersicht über die in den einzelnen Flurstücken wesentlichen Indikatoren und Attribute, die zur gezielten Identifikation nach unterschiedlichen Kriterien beitragen können. Mittels Auswahl- und Filterfunktion lässt sich die Liste schrittweise auf ausgesuchte Flurstücke reduzieren.

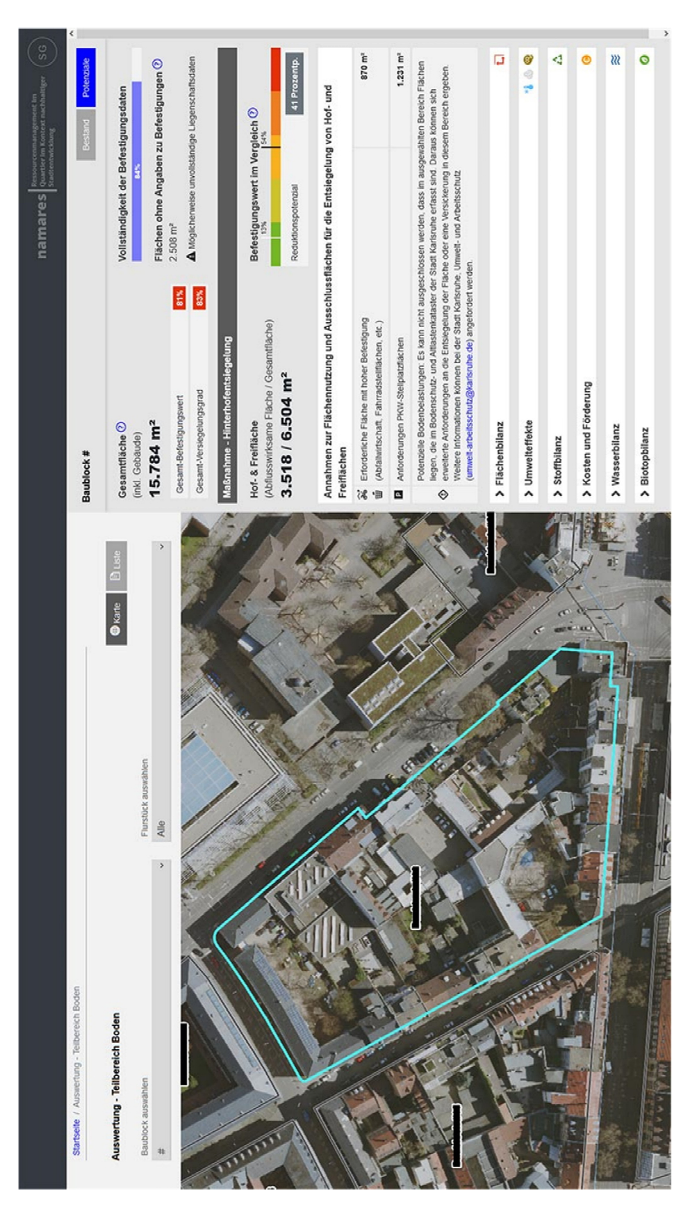


Abbildung 10: Auswertung „Kartenansicht“ – Potenzialübersicht Handlungsfeld Boden.

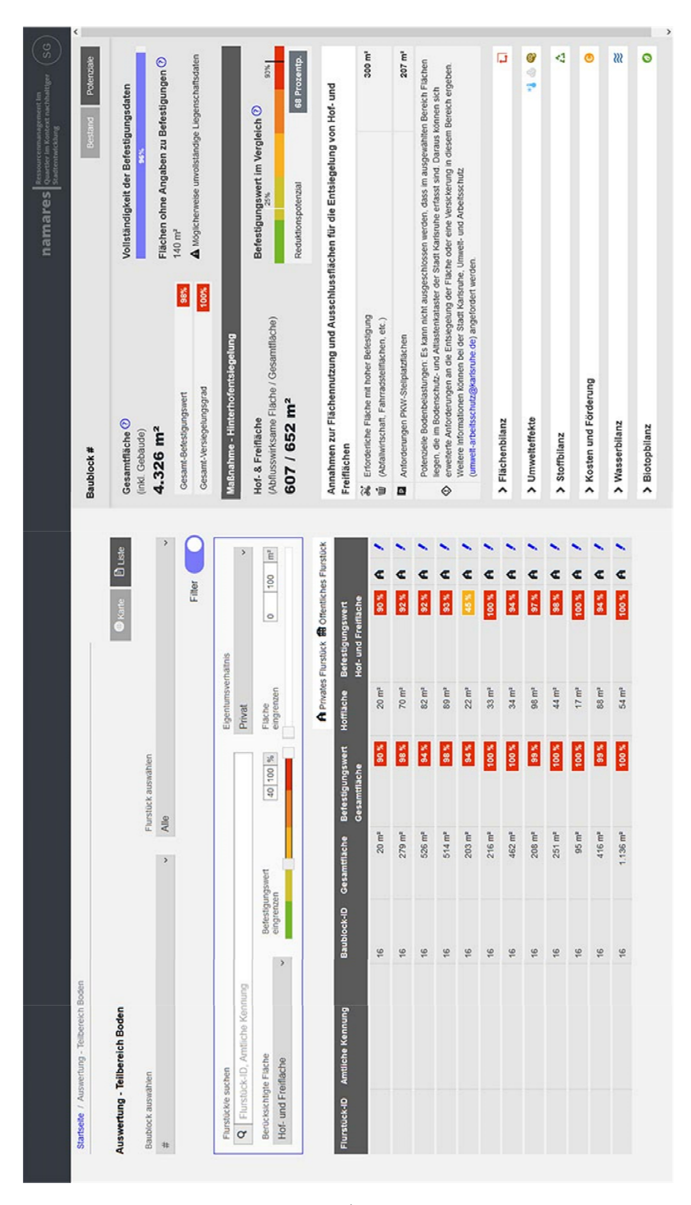


Abbildung 11: Auswertung ausgewählter / gefilterter Flurstücke in der „Listenansicht“.

Ein je auf die verschiedenen Handlungsfelder angepasster **Filter** (Abbildung 11) hilft zusätzlich bei der gezielten Selektion potenziell interessanter Flurstücke mit hohem Maßnahmenpotenzial oder auch bei der strategischen Auswahl von Zielgebieten für stadtplanerische Vorhaben. Zum Beispiel können Flurstücke nach Eigentumsverhältnis („privat“ und „öffentlich“) gefiltert sowie Flächengrößen eingegrenzt werden. Auch eine gezielte Baublock- und/oder Flurstückauswahl/-suche ist über den Filter möglich.

Simultan neben der Auswahlliste bzw. -karte werden im rechten Seitenbereich abhängig von der getroffenen Auswahl je die wesentlichen Be-/Zustandsindikatoren und – abhängig vom gewählten Teilbereich – die je eingegliederten **Maßnahmen-Potenziale sowie deren Leistungs- und Wirkungsindikatoren** (Abbildung 12) ausführlich gelistet, die bei der Entscheidungsunterstützung pro oder contra der Durchführung einer Maßnahme relevant sind.

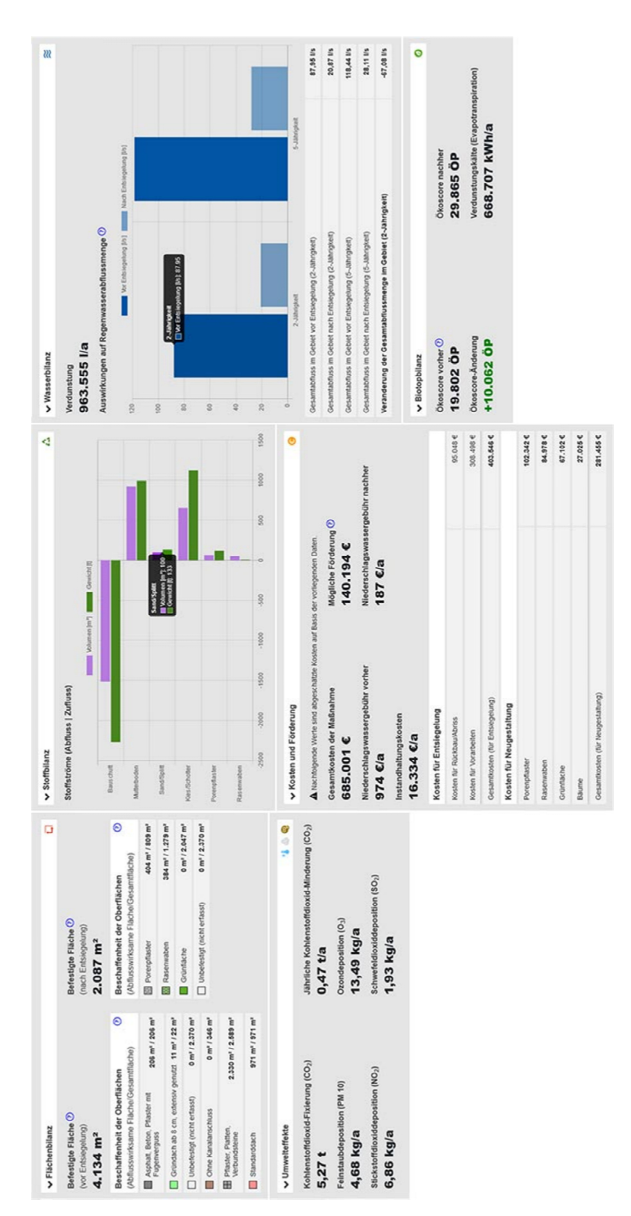


Abbildung 12: „Bilanz-Kategorien“ / Teilaspekte der Maßnahmen-Potenziale in der Auswertung.

Diese verschiedenen Indikatoren sind thematisch in Abschnitte nach Teilaspekten untergliedert, die sich abhängig von den unterschiedlichen Maßnahmenpotenzialen über alle Teilbereiche nach gleicher Struktur wiederfinden.

Um einem möglichst breiten Anwenderspektrum in der städtischen Verwaltung und in beteiligten Planungsbüros einen möglichst einfachen Zugang zum komplexen Themenfeld zu bieten, arbeitet die Anwendung in den Auswertungsbereichen mit einer einfachen Informationsarchitektur und linear aufgebauten Erzählstruktur: Ausgehend von der Zustandsbeschreibung (Bestand) über die schrittweise Erschließung der vorliegenden Potenziale (vom theoretischen Potenzial über Ausschlusskriterien hin zum technischen Potenzial) werden im Ergebnis je die verschiedenen bilanziellen Auswertungen, Aus- und Wechselwirkungen ausgesuchter Ressourceneffizienzmaßnahmen Step-by-Step in einzelnen Teilaspekten/Themenblöcken aufgezeigt. Während das theoretische Potenzial die gesamte Fläche angibt, die grundsätzlich entsiegelt werden könnte, bildet das technische Potenzial die Fläche ab, die unter Berücksichtigung von Ausschlussflächen (z. B. PKW-Stellplatzanforderungen, Stellplatzanforderungen für Container der Abfallwirtschaft oder anderen Nutzungen) zur Entsiegelung übrigbleibt. Damit wird der Prozess der Ergebnisfindung nachvollziehbar und transparent abgebildet. Dezentrale inhaltliche und methodische Erläuterungen, die man je per Klick auf ein Fragezeichensymbol abfragen kann, helfen den Benutzer/-innen bei der Interpretation im direkten Anwendungskontext. Um eine solide und „in Echtzeit“ lauffähige und flüssige Webanwendung zu ermöglichen, liegen die Ergebnisse für die Ausgabe „vorberechnet“ vor und werden abhängig von der getroffenen Auswahl je auf die Betrachtungsebene aggregiert. Diese Grundlagendaten und Basisberechnungen, die in der Projektdatenbank hinterlegt sind, werden bei Benutzung der Anwendung nie verändert.

Das Rechnermodul „**Manueller Entsiegelungsrechner**“ (Abbildung 13 und Abbildung 14) bietet deshalb die Möglichkeit, Berechnungen hinsichtlich Zielraum und Einflussparametern auch manuell durchzuführen (z. B. Flächenanpassungen an den Befestigungsdaten inkl. der Überplanung mit Biotopflä-

chen) und damit potenzielle Datenlücken zu schließen ohne dabei die Basisdaten zu überschreiben, Ergebnisse zu evaluieren, und ggf. anzupassen.

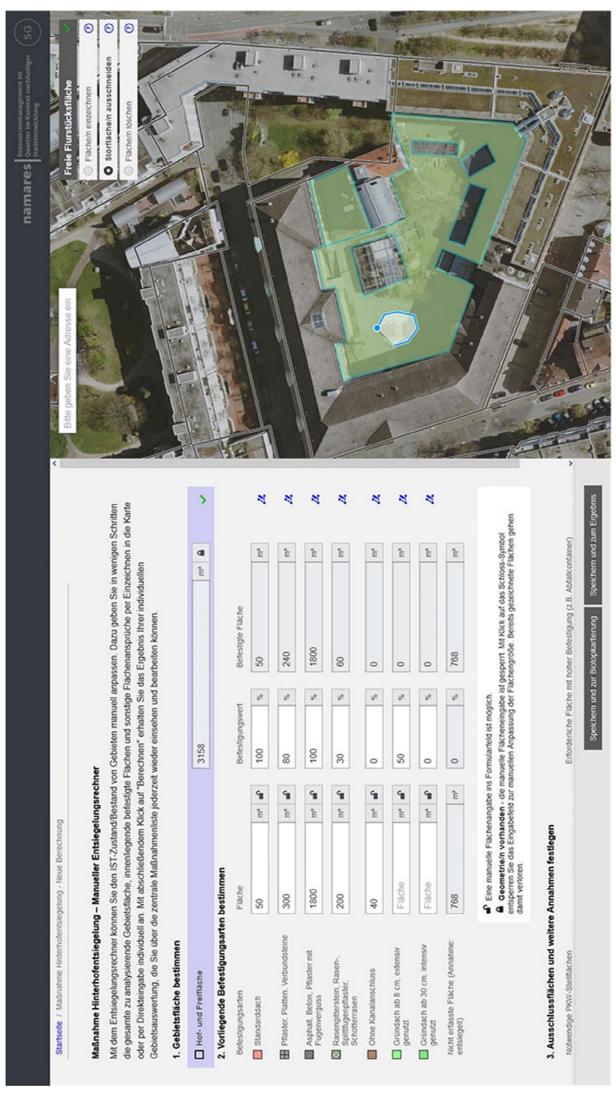


Abbildung 13: „Manueller Entsiegelungsrechner“.

Das Rechnermodul bietet auch die Möglichkeit, aus einer Entsiegelung potenziell resultierende Grünflächen mit Biotopflächen aus 10 verschiedenen Biotopkategorien zu überplanen, um die ökologischen Auswirkungen bewerten zu können und damit potenziell auch einen Blick in eine optimierte Zukunft zu werfen. Solche manuell angepassten Maßnahmenberechnungen lassen sich in einer eigenen Maßnahmen-Liste speichern und jederzeit weiterbearbeiten. Durch die Lauffähigkeit der Anwendung auf allen gängigen Endgeräten (auch auf Tablets und Smartphones) können Fachplaner und Ämter die Anwendung „mit auf die Straße“ nehmen und zur Vorortbegehung nutzen. Damit können sie interessierten Bürger/-innen Potenziale (mögliche Kosten und Nutzen) direkt am Tablet aufzeigen oder auch z. B. Befestigungsarten oder Biotope vor Ort kartieren, die evtl. vom Datenbestand abweichen und die zur Dokumentation der weiteren Maßnahmenplanung und Ausführung nötig sind. Aktuell ist das Rechnermodul für die Maßnahme Hinterhofentsiegelung umgesetzt, bietet aber zukünftig weiteres Ausbau- und Entwicklungspotenzial, nicht nur bei Anwendung für weitere Maßnahmen, sondern auch hinsichtlich einer nachhaltigen Dokumentation bei der Einzelmaßnahmenbewertung.

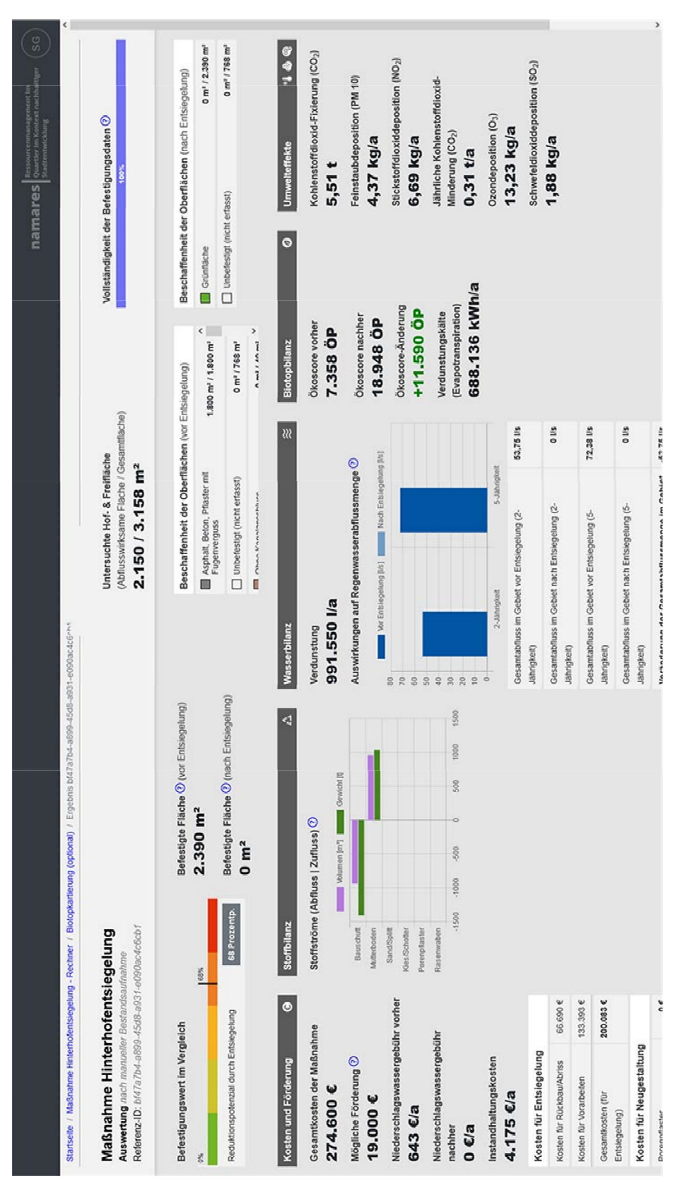


Abbildung 14: Ergebnisseite nach manueller Entsiegelungsberechnung.

Im interaktiven **Kartendienst** (Abbildung 15) ist ergänzend zur Auswertung auch die Betrachtung auf Einzel-Objektebene möglich (z. B. relevant für die Maßnahmenbewertung von Dach- und Fassadenmaßnahmen).



Abbildung 15: Kartendienst – georeferenzierte Darstellung der Biotopkartierung mit Attributabfrage.

Ein weiterer Mehrwert des Kartendienstes ist die detailgetreue Verortung und Visualisierung einzelner Zustands- und Potenzialindikatoren und die flüssige Durchlässigkeit von der Gesamtsicht des Projektgebietes über Baublock- und Flurstücks-Aggregationen bis hin zur Betrachtung eines Einzelobjekts und seiner Beschreibung und Auswertung.

3.1.8 Entwicklung von gesamtstädtischen, ökologischen, techno-ökonomischen und politischen Szenarien (AP 7)

AP 7 wurde im Ergebnisbericht [56] dokumentiert. Auf Basis der zur Verfügung gestellten Informationen konnten keine belastbaren Szenarien für die zukünftige demografische oder bauliche Entwicklung erstellt werden (räumlich aufgelöste Daten wurden aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht für entsprechende Analysen freigegeben oder zur Verfügung gestellt). Allgemeine und verfügbare Statistiken zum Stadtteil Innenstadt-Ost lieferten keine ablesbaren Trends. Hinsichtlich der Population des Quartiers konnte lediglich festgestellt werden, dass sich für die Personenanzahl mit Hauptwohnsitz nach einer Phase eines verlangsamten Wachstums, eine Abnahme für die Jahre 2019–2021 ereignet hat. Daher wird davon ausgegangen, dass die Personenanzahl mit Hauptwohnsitz sich bei ca. 6.500 einpendelt.

3.1.8.1 Szenarienentwicklung

Aus den Erkenntnissen aus den Begehungen, Erhebungen und Diskussionen in den Projekttreffen wurden Szenarien erarbeitet und weiterentwickelt. Der Betrachtungszeitraum für ist am Zeitraum des Sanierungsgebiets angelehnt. In den gemeinsamen Arbeitssitzungen wurden mögliche Konzeptvarianten als Szenarien abhängig von den Erkenntnissen aus der Bestandsaufnahme diskutiert. Diese Konzeptvarianten bilden den Kern, um mögliche Entwicklungspfade im Quartier zu bewerten.

Daraus ergaben sich folgende Szenarien und Rahmenbedingungen für die Bewertung:

- Hinsichtlich der politischen Rahmenbedingungen wurden die Förderziele und der Förderrahmen des Sanierungsgebiets adaptiert und in den Berechnungen möglichst exakt abgebildet. Da das Sanierungsgebiet bis 2030 gefördert wird und erfahrungsgemäß die Inanspruchnahme von Fördermitteln nicht vorhersagbar ist, wird eine statische Betrachtung der Förderung der Konzeptvarianten gewählt.
- Förderung von Entsiegelungsaktivitäten gemäß dem Förderprogramm im Sanierungsgebiet, mit folgenden Eckpunkten zu zwei zutreffenden Förderlinien:
    - Mit dem ersten Förderprogramm werden Entsiegelungsmaßnahmen finanziert, wobei die (teilweisen) Entsiegelungskosten (CAPEX) zu 100 % mit maximal 15.000 € pro Grundstück bezuschusst werden können [70].
    - Das zweite Förderprogramm finanziert Begrünungsmaßnahmen mit bis zu 1/3 der pauschalen Fertigstellungskosten und ist auf 4.000 € pro Grundstück/Eigentum/Gebäude begrenzt [71].
    - Da die Eigentumsverhältnisse in den verfügbaren Daten jedoch nicht aufgeschlüsselt sind, wird eine Obergrenze für die Begrünung auf Gebäudeebene für Dach- und Fassadenmaßnahmen festgelegt. Für beide Förderregelungen gelten besondere Bedingungen, die gemäß [70, 71] modelliert wurden.
    - Die Förderung von Maßnahmen ist nur auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur anwendbar.
    - Für „Neu"-Begrünung durch Bäume wurden $\lfloor(\text{Begrünungsfläche})/(100\ m^2)\rfloor$ Bäume pro Grundstück festgelegt.
- Theoretische Potenziale der Entsiegelung und Begrünung
- Maßnahme „Extensive Dachbegrünung" (*erg*)
- Maßnahme „Intensive Dachbegrünung" (*irg*)
- Maßnahme „Tiefgaragendachbegrünung" (*uprg*)

- Maßnahme „Photovoltaikdach“ (*rmpv*)
- Maßnahme „Photovoltaik und Dachbegrünung“ (*pvrg*)
- Maßnahme „Bodengebundene Fassadenbegrünung“ (*gbfg*)
- Maßnahme „Wandgebundene Fassadenbegrünung“ (*wbfg*)
- Maßnahme „Photovoltaik an Fassaden“ (*fmpv*)
- Maßnahme „Bodenentsiegelung/Hausgarten“ (*sdg*)
- Mikroskalige dreidimensionale Modellierung und Simulation des Stadtklimas
    - Wirkung des angrenzenden KIT Campus
    - Wirkung der Begrünung von Gebäudeoberflächen
- Aufwertung von Grünflächen im öffentlichen Raum
- Auswahl der Stadtbaumarten
- Umstellung des Abfallsystems in dem Gebiet der pneumatischen Müllentsorgung auf ein abfallbehälterbasiertes System
    - Im vorliegenden Fall wurde vom Gemeinderat der Stadt Karlsruhe auf Vorlage der Verwaltung beschlossen, die pneumatische Müllentsorgung (PME) zu schließen. Neben monetären Gründen wie dem zusätzlichen Investitionsbedarf in die Anlagentechnik der PME und die Infrastruktureinrichtung (z. B. Transportleitungen, Ventilräume) war es ein entscheidendes Argument, dass eine den gesetzlichen Anforderungen entsprechende Abfallwirtschaft nicht gewährleistet werden kann. Eine Abfalltrennung auf dem Grundstück ist effektiv nur über Abfallbehälter darzustellen.
- Wirkung der Entsiegelung auf die direkte Grünflächenversorgung pro Einwohner/-innen auf Baublockebene

3.1.8.2 Zusammenführung der Einzelszenarien und Auswahl von Szenarien, Parametern und ggf. Gewichtungen/Bewertungsindikatoren für die Berechnung der Modellergebnisse (AP 5) für AP 8

Aus den Projekttreffen und Beratungen mit der Stadt Karlsruhe heraus wurden keine weiteren Szenarien oder Wünsche hinsichtlich der Variation von Ein-

gangsparametern gestellt. Methodisch wurde, anhand der Expertenmeinungen, der Weg einer „Hotspot"-Identifikation gewählt, um dann jeweils Maßnahmen durchzurechnen. Des Weiteren lieferte die vorbereitende Voruntersuchung Anhaltspunkte zu städteplanerischen Entwicklungszielen. Zwei dieser Hauptziele wurden auch im Antrag des Forschungsprojekts näher beschrieben. Ein Hauptziel setzt schwerpunktmäßig auf die Entsiegelung von Flächen. Diese Entsiegelungspotenziale wurden auf Wunsch der Stadt besonders für die Flächen mit privater Eigentümerstruktur analysiert. Des Weiteren wurden die eingesetzten Förderprogramme hinsichtlich verschiedener Maßnahmen evaluiert. Zweites Hauptziel war die Umstellung der Abfallwirtschaft in einem Teilgebiet des Quartiers und des Teilbereichs der Stoffströme.

Im Folgenden werden ausgewählte Auswahlkriterien und Bewertungsparameter darstellt. Eine vollständige Übersicht kann aus den NaMaRes-Publikationen entnommen werden (vgl. 3.7). Tabelle 8 fasst die Kriterien für die Bestimmung der Eignung der georeferenzierten Oberflächen im Flächeninventar des Quartiers zusammen. Diese Auswahl bestimmt die zu bewertenden Flächen für die weitere Analyse. Da die Implementierungsgröße der Maßnahmen die Wirtschaftlichkeit beeinflusst, wurden aus empirischen Daten Anpassungskurven bestimmt, um die spezifischen Investitionen und Betriebskosten für jede Umsetzungsfläche zu bestimmen (Abbildung 16). Für die PV-Alternativen wurde eine feste Einspeisevergütung abhängig von der installierten Leistung angenommen (Abbildung 17). Des Weiteren wurden Parameter für jede der Maßnahmen für die Kategorien Albedo, Spitzenabflussbeiwert, mittlerer Abflussbeiwert, Versiegelungsfaktor, Evapotranspiration, Biodiversität, CO_2-Minderung, Grünschnitt, NO_2, SO_2, O_3, Feinstaub berechnet. Ein weiteres Beispiel für die Parametrisierung war die Anwendung einer verfeinerten Ökopunktebewertung der Biotope (vgl. [6, 8] und Tabelle 9).

Tabelle 8: Kriterien für die Bestimmung der Eignung der georeferenzierten Oberflächen im Flächeninventar für die Maßnahmen. (s: Oberflächenart; a: Fläche; tilt: Neigung der Fläche; green: vorhandene Begrünung; cons: Einschränkungen durch Denkmalschutz/ anderen Schutzzielen; pw: Fassadeneinschränkung durch gehinderte Erreichbarkeit; intersec: Bodenanschluss der Fassadenfläche). Übersetzt aus [6]

Auswahl der Oberflächenelemente für die technische Potenzialbewertung von Maßnahmen $t \in T = \{erg, irg, uprg, rmpv, pvrg, gbfg, wbfg, fmpv, sdg\}$

Maßnahme (t)	**Auswahlkriterien ($(\sigma_\varphi(E))$)**[v]	**Maßnahme (t)**	**Auswahlkriterien ($(\sigma_\varphi(E))$)**[v]
erg	$\sigma_{s=roof \wedge a\geq10 \wedge tilt\leq45 \wedge green=0 \wedge cons=0}(E)$	*irg*	$\sigma_{s=roof \wedge a\geq10}$[ii] $_{\wedge tilt\leq5 \wedge green=0 \wedge cons=0}(E)$
uprg	$\sigma_{s=ground \wedge a\geq5 \wedge green=0 \wedge cons=0}(E)$	*rmpv*	$\sigma_{s=roof \wedge a\geq25 \wedge tilt\leq5 \wedge green=0 \wedge cons=0}(E)$ $\vee$ $\sigma_{s=roof \wedge a\geq10 \wedge tilt>5 \wedge green=0 \wedge cons=0}(E)$
pvrg	$\sigma_{s=roof \wedge a\geq25 \wedge tilt<5 \wedge green=0 \wedge cons=0}(E)$	*gbfg*	$\sigma_{s=facade \wedge a\geq10 \wedge intersec=1 \wedge cons=0 \wedge pw=0}(E)$
wbfg	$\sigma_{s=facade \wedge a\geq10 \wedge intersec=0 \wedge cons=0 \wedge pw=0}(E)$	*fmpv*	$\sigma_{s=facade \wedge a\geq10 \wedge cons=0 \wedge pw=0}(E)$
sdg	$\sigma_{s=ground \wedge a\geq1 \wedge green=0}(E)$		

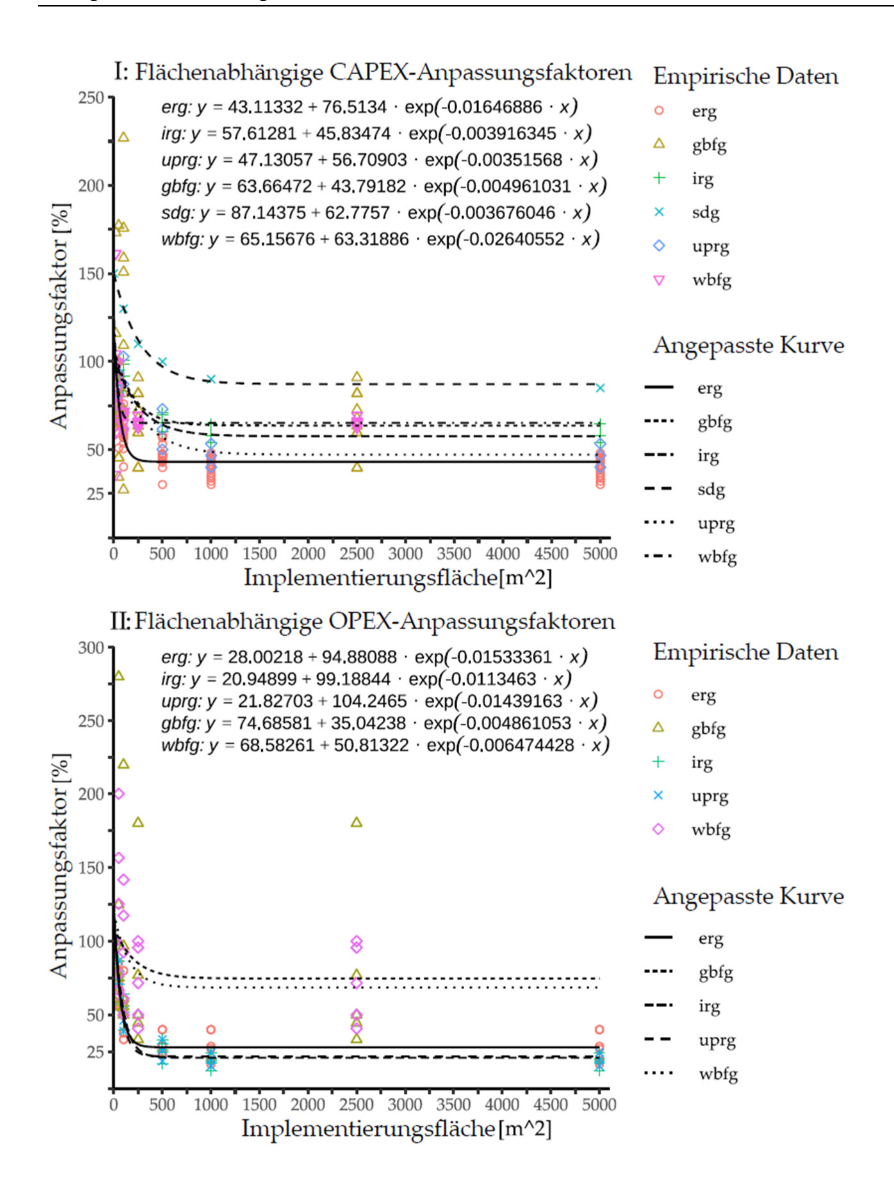


Abbildung 16: Anpassungsfaktoren für die Investition CAPEX und Betriebskosten OPEX ausgewählter Interventionsmaßnahmen. (Übersetzt aus [6])

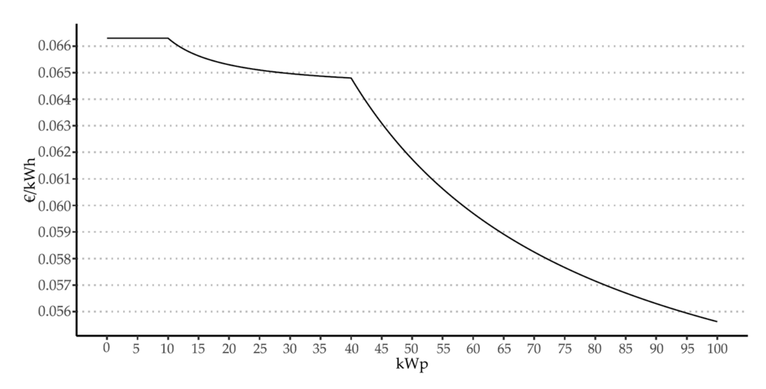


Abbildung 17: Verlauf der festen Einspeisevergütung für verkauften PV-Strom. (Entnommen aus [6])

Tabelle 9: Bewertungstabelle der Biotope für Ökopunkte bzw. Ökoscore (ÖP), Versiegelung und Verdunstung. (Entnommen aus [8])

ID	Biotoptyp	ÖP/m²	Versiegelung	Verdunstung
13.92	Kleingewässer (Brunnen/Teich)	1/4	vollvers.	hoch
23.51	Verfugte Mauer / Natursteinmauer	1/8	vollvers.	keine
33.71	Trittrasen	4	unvers.	mittel
33.72	Lückiger Trittpflanzenbestand	4	unvers.	gering
33.80	Zierrasen	4 o. 6	unvers.	mittel
35.61	Annuelle Ruderalvegetation	1	unvers.	gering
35.64	Ausdauernde Ruderalvegetation	9	unvers.	mittel
43.11	Brombeer-Gestrüpp	9	unvers.	mittel
44.22	Hecke	6	unvers.	mittel
44.30	Heckenzaun	4-6	unvers.	mittel
45.20	Baumgruppe	6	unvers.	mittel
60.10	Gebäude	1	vollvers.	keine
60.21	Völlig versiegelte Straße o. Platz	1	vollvers.	keine
60.22	Geplasterte Straße oder Platz	1 o. 2	vollvers.	keine
60.23	Weg/Platz mit Kies, Schotter	2-4	teilvers.	keine/gering
60.24	Unbefestigter Weg oder Platz	3	teilvers.	keine/gering
60.51	Blumenbeet oder Rabatte	4-7	unvers.	mittel
60.53	Bodendecker-Anpflanzung	4 o. 7	unvers.	mittel
60.61	Nutzgarten	6	teilvers.	mittel
60.62	Ziergarten	6	teilvers.	mittel
60.63	Mischtyp von Nutz- und Ziergarten	6	teilvers.	mittel
unbest.	unbestimmt	1	-	-

3.1.8.3 Dialogische Rückkopplung der Szenarienentwicklung mit strukturierter Öffentlichkeit, Stakeholdern und Stadtverwaltung

Die Rückkopplung wurde ohne eine breite Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt, da die Berücksichtigung den Wünschen und Hemmnisse von Akteuren und des Akteursnetzwerks durch den Ausfall eines Teils der Erhebung in AP 4 nicht berücksichtigt werden konnte. Des Weiteren waren entsprechend passende Veranstaltungen nicht planbar (Covid-19-Pandemie). Eine Rückkopplung war nur innerhalb von internen Projekttreffen durch Expertinnen und Experten möglich.

3.1.9 Berechnung quartiersbezogener Ressourceneffizienzindikatoren und Entwicklungspfade, ggf. Optimierung der Ressourceneffizienzindikatoren des Quartiers (Simulation und Szenarioanalyse) (AP 8)

Die in AP 2 bestimmten Indikatoren werden für die Bewertung herangezogen und für die Untersuchungsgebiete/-einheiten abgebildet. Arbeitspaket 8 wurde im Ergebnisbericht [56] dokumentiert.

3.1.9.1 Berechnung der quartiersbezogenen Ressourceneffizienz

Wie in AP 3, 5 und 7 beschrieben wurden zahlreiche quantitative und qualitative Kennzahlen erhoben und berechnet. Diese gehen in die Berechnung der quartiersbezogenen Ressourceneffizienz der bestimmten Szenarien ein. Die Ergebnisse der Berechnungen liegen auf Teilflächenebene vor und können nahezu beliebig aggregiert und in räumlichen Einheiten dargestellt werden. Die Berechnungsergebnisse sind im Webtool dynamisch darstellbar. Eine Darstellung aller Ergebnisse in diesem Schlussbericht ist nicht möglich. Der Ergebnisbericht [56] zeigt ausgewählte und aggregierte Ergebnisse und Beispiele der Darstellung.

Mithilfe der Ergebnisse der Biotoptypenkartierung und der Baumkartierung für die Innenstadt-Ost in Karlsruhe konnten Ökosystemleistungsindikatoren

bestimmt werden. Die detaillierten Beschreibungen zur Vorgehensweise und zu den gewählten Skalen sind auch im Leitfaden zu den Ökosystemleistungen (ÖSL) zu finden [33]. Es wurden Kartendarstellungen in einem Geoinformationssystem (GIS) zur Darstellung der räumlichen Verteilung der ÖSL in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe erstellt und in das Webtool integriert. Auf eine explizite Darstellung wird in diesen Bericht verzichtet. Der Umfang der Kartenanzahl und die darstellbaren Bereiche in diesem Schlussbericht ist begrenzt und nicht zielführend. Der Ergebnisbericht [56] zeigt ausgewählte und aggregierte Ergebnisse und Beispiele der Darstellung.

Ergebnisse der Simulationen in ENVI-met, der Berechnung der Bodenpotenziale, Fassadenpotenziale, Dachpotenziale, Bereitstellung von Grünflächen, des Förderdesigns, der Aufwertung von öffentlichen Grünflächen und der Auswahl von Zukunftsbäumen und von Bewertungsszenarien für den Flächenbedarf der Abfallbehälter sind in [56] dargestellt.

Folgende Kernindikatoren und Kennzahlen werden für die Bewertung der Berechnungen verwendet. Tabelle 10 zeigt ein Beispielergebnis. Weitere Ergebnisse sind im Ergebnisbericht, den Publikationen und dem Webtool dokumentiert (vgl. 3.7):

- Albedo: Maß für die Reflexionsstrahlung von reflektiertem Licht. Die Kennzahl ist dimensionslos und gibt das Verhältnis von reflektiertem und einfallendem Licht an. Wertebereich 0 bis 1 oder 0 bis 100 % (flächengewichtet aggregierbar).
- Abfluss Peak, auch Spitzenabflussbeiwert: Kennzahl für die Berechnung der abflusswirksamen Fläche zur Bemessung der Dachentwässerung und Grundleitung [10]. Die Kennzahl ist dimensionslos und nimmt einen Wertebereich von 0 bis 1 ein (flächengewichtet aggregierbar).
- Abfluss MW, auch mittlerer Abflussbeiwert: Kennzahl für die Berechnung des Volumens von Niederschlagswasserrückhalteräumen [10]. Die Kennzahl ist dimensionslos und nimmt einen Wertebereich von 0 bis 1 ein (flächengewichtet aggregierbar).

- Versiegelungsgrad: Maß für die Wasserdurchlässigkeit einer Oberfläche, im Projekt werden die Abflussbeiwerte und die stadtinternen Parameter der gesplitteten Abwassergebühr zur Berechnung herangezogen, Wertebereich 0 bis 1 oder 0 bis 100 % (flächengewichtet aggregierbar).
- CAPEX: Investitionsausgaben in Geldeinheiten für die Implementierung einer Maßnahme.
- OPEX: Jährliche Betriebskosten in Geldeinheiten außer Bewässerungskosten für den Betrieb und Pflegeaufwand einer Maßnahme.
- Einsparungen: Erzielte Einsparungen in Geldeinheiten durch eine Maßnahme. Zum Beispiel Eigenverbrauch von PV-Strom.
- Erlöse: Erzielte Erlöse in Geldeinheiten durch eine Maßnahme, zum Beispiel Einspeisevergütung für eingespeisten PV-Strom.
- Lokale Förderung: Finanzielle Förderung von Maßnahmen durch die lokalen Förderinstrumente.
- Grünschnitt: Jährliche Menge von Grünschnitt und Grünabfällen in Gewichtseinheiten, welche durch die Maßnahmen induziert werden.
- Evapotranspiration: Summe der Transpiration und Evaporation von Pflanzen und Böden. Damit wird die Verdunstung von Wasser aus der Pflanzenwelt sowie von Boden- und Wasseroberflächen beschrieben. Diese wird in Liter pro Jahr angegeben. Der Wert der Verdunstung wird über notwendige Verdunstungsenergie und angenommene Energiekosten berechnet.
- CO2fix: Über den Lebenszyklus geleistete CO_2-Sequestrierung/-Speicherung/-Bindung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).
- CO2mit: Jährliche CO_2-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).
- Biodiversität: Anzahl der Individuen (Fauna) welche eine Oberflächenart/Maßnahme als Lebensraum nutzt [9, 19].
- NO2: Jährliche NO2-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).

- SO_2: Jährliche SO_2-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).
- O_3: Jährliche O_3-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).
- PM_{10}: Jährliche PM_{10}-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).
- Ecoscore: Von den Ökopunkten abgeleitete quantitative Bewertung der Qualität/Nutzwert/Habitat eines Biotops [6–8, 20, 21, 37]. Die Bewertung folgt der Logik der Ökokontoverordnung mit aggregierbaren Punktwertungen (höher = besser).

Tabelle 10: Maßnahmenpotenziale im Untersuchungsgebiet und Bewertung der Auswirkungen. Die Werte stellen Aggregate für jede Maßnahme und die Wirkung/Veränderung (Δ) gegenüber dem Ausgangszustand für die Potenzialfläche dar. Die Spalte ‚Initial' stellt den Ausgangszustand in absoluten Werten dar. Alle Werte sind gerundet. pp: Prozentpunkte

Kategorie	*sdg*	*uprg*	*erg*	*irg*	*rmpv*	*pvrg*	*gbfg*	*wbfg*	*fmpv*	*Initial*[i]
Effektive Fläche[ii] $[ha]$	3,35	0,8	4	2,2	1,2[iii]	2[iv]	8,5	8,6	1,4	–
Selektierte Fläche[v] $[ha]$	5,4	1,6	6,68	6,2	5,1	3,4	16,6	16,7	6,2	49,51[vi]
Albedo [-]	0,03	0,01	-0,03	-0,03	-0,01	-0,03	-0,02	0	0	0,211
Abfluss peak [pp]	-40	-39	-24	-46	0	-29	0	0	0	84
Abfluss mw [pp]	-37	-37	-30	-47	1	-35	0	0	0	69,6
Versiegelung [pp]	-35	0	0	0	0	0	0	0	0	89
CAPEX [m€]	5,6	0,55	2,2	2,4	3,5	3,2	2,7	27	6,8	–
OPEX $\left[\frac{m€}{a}\right]$	0,137	0,008	0,05	0,05	0,08	0,07	1,2	3,3	0,14	–
Einsparung $\left[\frac{k€}{a}\right]$	6,6	2	9	11	242	148	0	0	194	–
Erlöse $\left[\frac{k€}{a}\right]$	0	0	0	0	107	63	0	0	85	–
Lokale Förderung [m€]	1,12	0,064	0,73	0,52	0	0,37	0,42	0,51	0	–
Grünschnitt $\left[\frac{t}{a}\right]$	37	10,7	4	9,8	0	2	25,5	12,9	0	44,5
Evapotrans. $\left[\times 10^6 \frac{l}{a}\right]$	7,4	3,2	10,1	8,2	0	5,2	42,5	25,7	0	38,3
Wert der Evapotrans. $\left[\frac{m€}{a}\right]$	1,8	0,77	2,5	2	0	1,3	10	6,2	0	9,3
$CO_{2,eq}^{fix}$ $[t]$	40,5	19	32	53,4	0	16,5	102	103	0	6,8
$CO_{2,eq}^{mit}$ $\left[\frac{t}{a}\right]$	3,86	0	0	0	986	585	0	0	790	–
Biodiversität [k n]	220	90	400	250	0	200	1.100	860	0	661
NO_2^{mit} $\left[\frac{kg}{a}\right]$	52,01	22,2	93	59	0	48	304	200	0	88,3
SO_2^{mit} $\left[\frac{kg}{a}\right]$	14,65	6,23	26	18	0,23	13,5	86	56	0.18	24
O_3^{mit} $\left[\frac{kg}{a}\right]$	102,3	43,6	180	114	0	92	610	385	0	173,8
PM_{10} $\left[\frac{kg}{a}\right]$	38,26	10,9	41	27	0	21	175	87	0	90,8
Ecoscore [pkt.]	85.517	39.690	120.263	88.936	0	61.724	253.069	255.234	0	620.513

i Alle Werte sind absolut und fassen die Boden-, Fassaden- und Dachflächen zusammen. Es ist zu beachten, dass der Status der Fassadenbegrünung unbekannt ist. ii Potentielle Fläche iii Flächenbedarf für PV-Module iv Flächenbedarf für die Begrünung mit PV-Paneelen. Somit ist die Begrünungsfläche $\neq$ PV-Modulfläche. v Fläche nach Erfüllung der Bedingungen vi Vereinigung selektierbarer Flächen

Im Folgenden werden die Ökosystemleistungsindikatoren der Kartierung der Biotope und Bäume sowie eine Kurzversion zur Bestimmung und genutzten Bewertungsskala des ÖSL-Indikators dargestellt. Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen Beispielergebnisse. Weitere Ergebnisse sind im Ergebnisbericht, den Publikationen und dem Webtool dokumentiert (vgl. 3.7).

- **Ökopunkte**: Biotoptypenkartierung und Ökokontoverordnung bilden die Datengrundlage für die Berechnung der Ökopunkte für alle Bio-

toptypen im Stadtquartier und dadurch Ermittlung der Summe aller vorhanden Ökopunkte für das gesamte Untersuchungsgebiet [21].

- **Versiegelung**: Biotoptypenkartierung und projekteigene Zuordnungstabelle für die Biotoptypen in die drei Versiegelungskategorien voll versiegelt, teilversiegelt, unversiegelt. Ergebnis ist eine flächendeckende Ergebnisdarstellung für alle kartierten Biotoptypen im Untersuchungsgebiet mit 3-stufiger Ordinalskala als GIS-Kartendarstellung und Tabelle mit Flächengrößen pro Kategorie und prozentualen Anteilen.
- **Verdunstungsleistung**: Biotoptypenkartierung mit dem Kartierschlüssel nach [21, 37]. Zuordnung der Biotoptypen zu den einzelnen Verdunstungsstufen nach Breunig [21], flächendeckende Ergebnisdarstellung für alle kartierten Biotoptypen im Untersuchungsgebiet mit 4-stufiger Ordinalskala als GIS-Kartendarstellung und Tabelle mit Flächengrößen pro Kategorie und prozentualen Anteilen.
- **Beitrag zur Biodiversität**: Biotoptypenkartierung und Zuordnungstabelle von [72] entwickelt, um den Biotoptypen eine von fünf Kategorien zuordnen zu können (keine – gering – mittel – gut – sehr gut). Flächendeckende Ergebnisdarstellung für alle kartierten Biotoptypen im Untersuchungsgebiet mit 5-stufiger Ordinalskala als GIS-Kartendarstellung und Tabelle mit Flächengrößen pro Kategorie und prozentualen Anteilen.
- **Baumartenverteilung**: Baumkartierung, Darstellung der drei häufigsten Baumarten für den öffentlich und den privat zugänglichen Bereich werden in einer GIS-Karte hervorgehoben, zudem wurde die Anzahl der Bäume pro Baumart bestimmt.
- **Beschattung**: Baumkartierung mit Angabe zum Kronendurchmesser des Baums, da sich aus diesem die beschattete Fläche berechnen lässt, Berechnung der beschatteten Fläche durch Bäume für das Untersuchungsgebiet, ein Zahlenwert in Quadratmeter.
- **CO_2-Bindung**: Baumkartierung, Merkblatt 27 der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft mit Schätztabellen zur CO_2-Speicherkapazität von Bäumen, Methodik von [73] zur spezifischen Anpassung dieser Schätztabellen für die Anwendung auf Stadtbäume

durch eine Erweiterung der vorliegenden Schätztabellen, Zuordnung eines minimalen CO_2-Wertes in Kilogramm und eines maximalen CO_2-Wertes in Kilogramm pro Stadtbaum, Bestimmung eines mittleren CO_2-Wertes pro Stadtbaum, CO_2-Speicherkapazität minimal, mittel und maximal für das Untersuchungsgebiet wird durch Aufsummieren bestimmt [73].

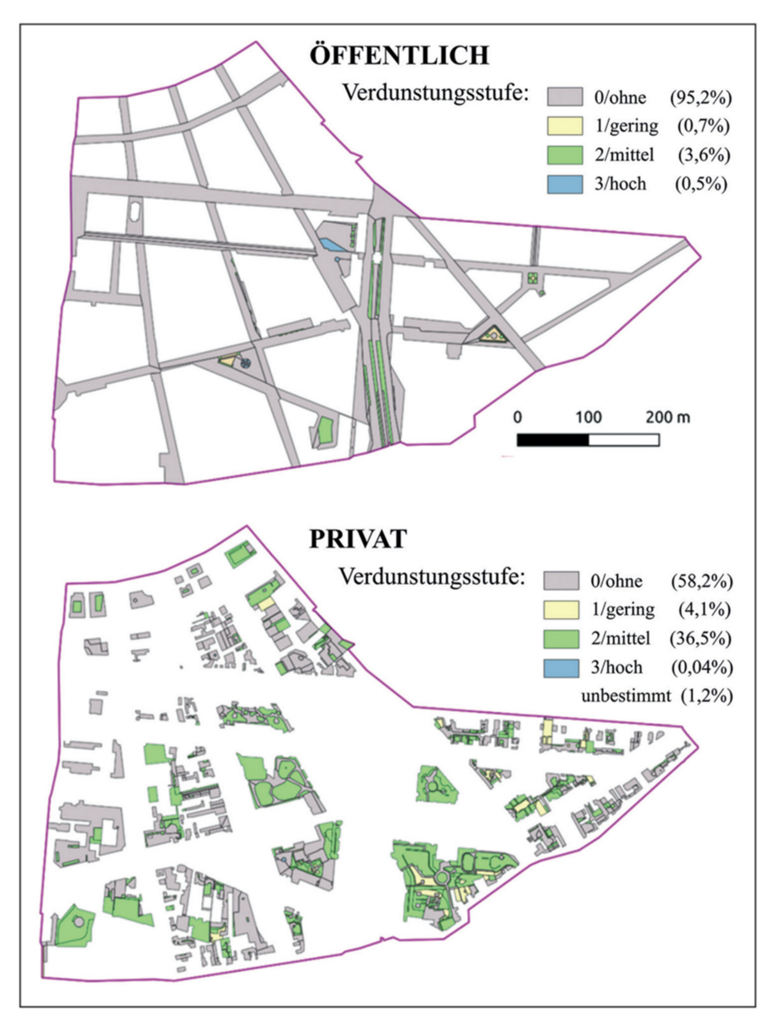


Abbildung 18: Qualitative Bewertung der Verdunstungsleistung im Quartier. Flächenanteile pro Verdunstungsstufe in [%]. Kartengrundlagen: [74], Biotopkartierung: [8].

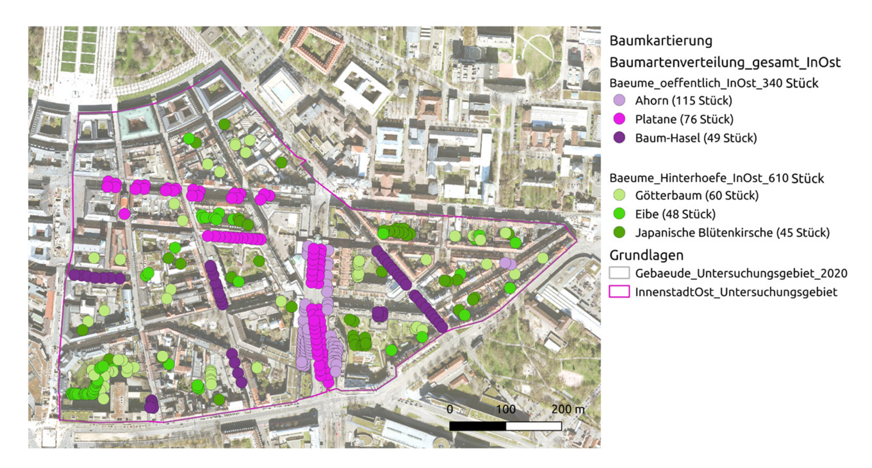


Abbildung 19: Baumartenverteilung der drei häufigsten Baumarten im öffentlichen und privaten Bereich der Innenstadt-Ost in Karlsruhe. Kartengrundlage: [74], Baumkartierung: [8].

Mit der Vorgabe, die pneumatische Müllentsorgung (PME) zurückzubauen, war es auch der Auftrag an die Verwaltung, bei der Schließung der PME baublockscharf vorzugehen und die Bevölkerung intensiv mitzunehmen und zu informieren. Die Qualität der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur kann anhand von Benchmarks bislang nur unzureichend bewertet werden. So sind z. B. die Sozialstruktur eines Quartiers, die Art und Dichte der Bebauung – die sich teilweise in der Sozialstruktur widerspiegelt – sowie das Vorhandensein von Handel und Gewerbe maßgebliche Einflussfaktoren für die Erfolge von Maßnahmen. Zahlreiche Modellversuche der Stadt Karlsruhe u. a. zur Verbesserung der Trennqualität der häuslichen Abfälle in die bereitgestellten Abfallbehälter bestätigen diese Erkenntnis. Um die Varianz von spezifischen Beurteilungsdaten abzuschätzen, wurden die folgenden Gebietscharakteristika untersucht:

- Abfallwirtschaft in Karlsruhe gesamt
- Abfallwirtschaft im untersuchten Quartier (verdichteter Bereich der Innenstadt-Ost mit Handel und Gewerbe)

- Abfallwirtschaft in einem abgeschlossenen Vorort (Stupferich) mit geringer Bevölkerungsdichte und hohem Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern

Dabei ergaben sich die folgenden spezifischen Daten:

Auffallend sind die hohen Volumina für Restmüll in der Innenstadt-Ost und die geringen Volumina für Bioabfälle. Die Daten für Stupferich weichen insgesamt nur im Bereich von 10 % von den städtischen Werten ab – außer bei Bioabfällen, von denen in Stupferich 50 % höhere Volumen bereitgestellt werden. Die hohe Quote für Wertstoffe und Papier/Pappe/Karton in Stupferich ist auffallend. Auch die Bioabfälle liegen um den Faktor 4 höher als in der Innenstadt-Ost. Daraus ist zum einen zu schließen, dass in dem verdichteten Bereich vermehrt größere Behälter angefordert werden, was den spezifischen Platzbedarf verringert. Die tatsächliche Konzentration der Abfallbehälter zeigt sich in Darstellung der Behälteranzahl je Flächeneinheit. Trotz der vermehrt größeren Behälter im verdichteten Bereich ergibt sich aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte eine um den Faktor 10 höhere Abfallbehälterdichte für Restmüll und um den Faktor 5 höhere Abfallbehälterdichte über das gesamte Behältersystem. Das ist umso mehr bemerkenswert, da im verdichteten Bereich die Flächenkonkurrenz zu alternativen Nutzungen intensiver ist.

Die folgenden Indikatoren für die Bewertung der dynamischen Stoffströme wurden im Projekt bestimmt (Tabelle 11).

- Indikator Abfallmenge: Volumen der anfallenden Abfallmenge oder Anzahl der Abfallbehälter der Abfallfraktionen Papier-, Rest-, Wertstoff- und Biomüll.
- Indikator Fläche Abfallbehälter: Flächeninanspruchnahme für die Vorhaltung von Abfallbehälter.
- Indikator Abfallbehälter-Volumen: Volumen der gewählten Abfallbehälter.

Die Indikatoren sind u. a. Basis für die Definition der möglichen Konflikte mit weiteren Nutzungen im Quartier. Sie sind ebenfalls Grundlage für Bewertungsschemata, mit denen u. a. konkurrierende Nutzungen von Gebietsflächen oder allgemein der Infrastruktur bewertet werden können.

Tabelle 11: Inventar und Flächenbedarfe der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur in Karlsruhe.

Abfallwirtschaftliche Infrastruktur in Karlsruhe (Stand 2021)						
Lf.-Nr.	**Einrichtung**	**Anzahl [Stück]**	**spez. Fläche [m²]**	**notwendige Verkehrsfläche [m²]**	**Gesamtfläche [m²]**	**Fläche je Einwohner [m²]**
1	Abfallbehälter 80 – 1.100 Liter	165.200	1,0	1,5	413.000	1,354
2	Altglascontainer	320	20,0	0,0	6.400	0,021
3	Altkleidercontainer	210	10,0	0,0	2.100	0,007
4	Batteriesammelbehälter	260	0,1	0,1	52	0,000
5	Betreute Werstoff-Stationen	9	1.000,0	500,0	13.500	0,044
6	Umladestation	1	10.000,0	5.000,0	15.000	0,049
7	Kompostplatz	2	15.000,0	5.000,0	40.000	0,131
8	Grüngut-Container	30	25,0	100,0	3.750	0,012
9	Fuhrpark, Garagen, Sozialgebäude	1	30.000,0	5.000,0	35.000	0,115
10	Deponien	2	330.000,0	10.000,0	340.000	1,115
11	Insgesamt				868.802	2,849

3.1.9.2 Optimierung der Ressourceneffizienzindikatoren

Im Verlauf des Projekts wurden keine strengen Optimalitätskriterien für mathematische Optimierungen definiert. Hinsichtlich der Entscheidungsunterstützung wurde der Mehrwert der Darstellung von Ergebnissen und Indikatoren optimiert. Neben den in vorherigen Arbeitspaketen beschriebenen und aufgelisteten Indikatoren wurden viele weitere Indikatoren genutzt, um die Ergebnisse zu erzeugen. Erwähnenswert sind monatlich aufgelöste Niederschlagsmengen nach 2- und 5-Jährigkeit und verschiedene Polygongeometrie-

Metriken zur Identifikation von nutzbaren Teilflächen und Artefakten. Viele wurden als Metainformationen klassifiziert und aus der Menge für der entscheidungsunterstützenden Indikatoren ausgeblendet. Diese Vorauswahl verbessert die Übersicht und den Nutzwert der Webanwendung. Diese Komplexitätsreduktion wurde auch im Rahmen dieses Arbeitspaket behandelt. Die Verwendung von mathematischen Optimierungen von multikriteriellen Methoden sind Bestandteil zukünftiger Forschung.

3.1.9.3 Sensitivitätsanalysen für das Modell und die berechneten Szenarien

Im Rahmen der Ergebnisvorstellungen in den Projekttreffen wurden iterativ die Annahmen zu den gewählten Maßnahmen und jeweilige Parameter zur Berechnung der Indikatoren vorgestellt und evaluiert. Insbesondere wurden die Auswahlkriterien für Teilflächen für Maßnahmen variiert. Hierbei hat sich gezeigt, dass die angenommenen Literatur- und Praxiswerte als geeignet akzeptiert wurden. Die final verwendeten Werte und die Quellen und Referenzen sind in Ergebnisbericht [56] und in der begutachteten Publikation [6] dokumentiert.

Ein weiteres besonderes Augenmerk war die ökonomische Bewertung der Förderung, Investitionen und Betriebskosten der berechneten Maßnahmen. Anhand einer Tiefenrecherche zu empirischen Werten zu den Investitionen und Kosten, sowie der Modellierung von flächengrößenabhängigen Anpassungsfaktoren wurde eine große Bandbreite von möglichen Ausprägungen der spezifischen Investitionen und Betriebskosten ermittelt. Folgende Metriken wurden bei der nichtlinearen Regression der Anpassungsfunktionen für den CAPEX (Tabelle 12) und OPEX (Tabelle 13) erreicht.

Tabelle 12: Metriken der nichtlinearen Regression der Anpassungsfunktionen des CAPEX.

	erg	**gbfg**	**irg**	**sdg**	**uprg**	**wbfg**
a	43.113	63.665	57.613	87.144	47.131	65.157
	(2.959)	(21.761)	(4.175)	(1.943)	(6.431)	(2.370)
b	76.513	43.792	45.835	62.776	56.709	63.319
	(4.779)	(29.986)	(3.790)	(2.068)	(5.851)	(11.240)
c	-0.016	-0.005	-0.004	-0.004	-0.004	-0.026
	(0.004)	(0.009)	(0.002)	(0.0004)	(0.002)	(0.007)
Num.Obs.	6	10	6	6	6	10
AIC	33.6	101.5	34.4	29.8	39.0	64.4
BIC	32.8	102.7	33.6	29.0	38.2	65.6
Log.Lik.	-12.809	-46.762	-13.192	-10.918	-15.522	-28.182
isConv	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
finTol	0.000003	0.000005	0.000008	0.000002	0.000005	0.000004

Tabelle 13: Metriken der nichtlinearen Regression der Anpassungsfunktionen des OPEX.

	erg	**gbfg**	**irg**	**uprg**	**wbfg**
a	28.002	74.686	20.949	21.827	68.583
	(1.692)	(11.854)	(2.124)	(1.662)	(9.299)
b	94.881	35.042	99.188	104.247	50.813
	(2.571)	(16.299)	(2.904)	(2.667)	(13.391)
c	-0.015	-0.005	-0.011	-0.014	-0.006
	(0.001)	(0.006)	(0.001)	(0.001)	(0.004)
Num.Obs.	6	10	6	6	10
AIC	26.9	89.4	29.4	26.6	84.8
BIC	26.0	90.6	28.6	25.8	86.1
Log.Lik.	-9.441	-40.680	-10.723	-9.318	-38.423
isConv	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
finTol	0.0000007	0.00001	0.000004	0.0000001	0.000008

Diese konnten durch Expertenmeinungen plausibilisiert werden. Die in Abbildung 20 dargestellten statistischen Diagramme wurden ebenso als realistisch und plausibel eingeschätzt.

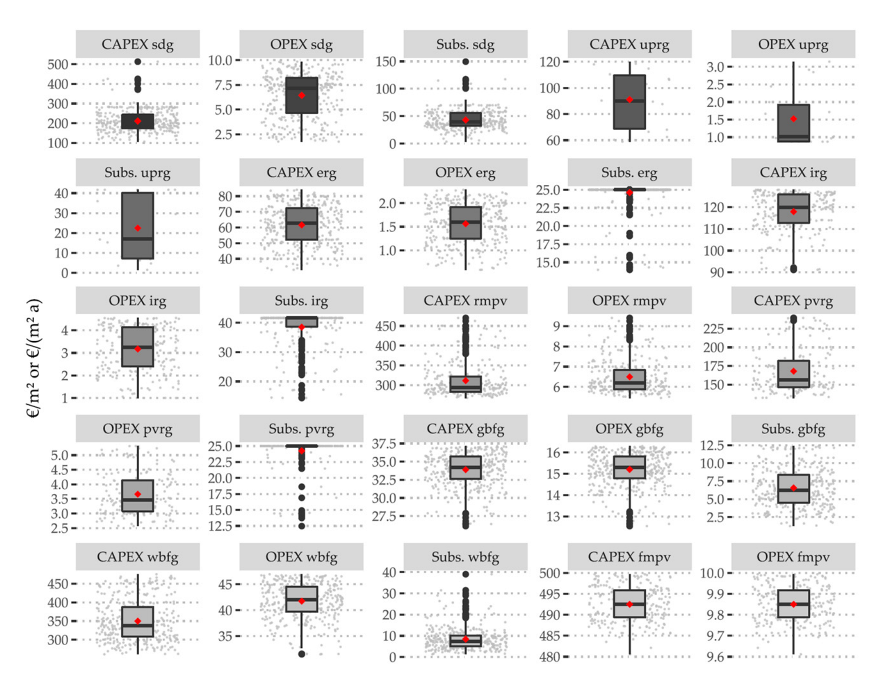


Abbildung 20: Boxplots, Durchschnittswerte und Streuung der flächenspezifischen Investitionen, Kosten und Förderung aller betrachteten Maßnahmen.

Zusätzlich wurde im Rahmen einer Masterarbeit [75] eine Weiterentwicklung der ÖSL-Indikatoren Ökopunkte und Beschattung in urbanen Bestandsquartieren durchgeführt, um diese auch auf anderen Betrachtungsebenen im Untersuchungsgebiet nutzen zu können. Folgende Anpassungen wurden vorgenommen, um nicht nur einen einzelnen Zahlenwert für das Untersuchungsgebiet als ÖSL-Indikator zu haben. Als Betrachtungsebenen gibt es (1) das gesamte Untersuchungsgebiet, (2) eine Einteilung in vier Kategorien nach Zugänglichkeit und Nutzung (Gebäude, Hinterhöfe, öffentliche Flächen, öffentliche Straßen) sowie (3) die Möglichkeit einer Abgrenzung einzelner Häuserblöcke der vorhandenen Blockrandbebauung in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe [75].

Die Weiterentwicklung des ÖSL-Indikators Ökopunkte umfasst die Betrachtung und Vergleich der einzelnen Häuserblöcke innerhalb des Untersuchungsgebietes hinsichtlich des vorliegenden ÖSL-Indikators repräsentiert durch die auf die Fläche normierte Ökopunktanzahl (ÖP pro m²). Zur Einordnung nutzt der Indikator, eine ordinalen Skala mit den drei Kategorien gering – mittel – hoch [75].

Die Weiterentwicklung des ÖSL-Indikators Beschattung umfasst die Herleitung einer linearen Regressionsgerade, die zum Datafilling bei fehlenden Angaben zum Kronendurchmesser im Baumdatensatz genutzt werden kann. So, kann der Kronendurchmesser mithilfe einer Angabe zum Brusthöhendurchmesser berechnet werden. Als Betrachtungsebene werden für diesen ÖSL-Indikator die vier Kategorien (1) Gebäude, (2) Hinterhöfe, (3) öffentliche Fläche und (4) öffentliche Straße genutzt. Hierfür wurde auch eine ordinale Skala mit den drei Kategorien gering – mittel – hoch benutzt [75]. Die Weiterentwicklung erfolgte parallel zur Aufstellung/Kreation der Ressourceneffizienzindikatoren.

3.1.10 Test des entwickelten Werkzeugs im Karlsruher Quartier Innenstadt-Ost (AP 9)

3.1.10.1 Validierung des Modells anhand der Realdaten und evtl. Korrektur von Indikatoren

In enger Abstimmung zwischen SG und KIT wurden die in die Webanwendung implementierten Daten wie die Berechnungslogik (pro Iteration bzw. neuer Datenbank- und Skriptelieferung) in bilateralen Gesprächen erörtert und auf Vollständigkeit und Korrektheit geprüft. Die Validierung des grundlegenden Berechnungsmodells und der übertragenen Einheiten erfolgte über die gesamte Projektdauer in Absprache mit dem/durch das IIP. Zum vereinfachten Ab-/Vergleich diente beidseitig weitestgehend ein exemplarisch ausgesuchter Baublock. Projekt abschließend erfolgte eine finale Evaluation seitens IIP, bei der alle in der Anwendung ausgewiesenen Ergebnisse zwischen IIP und SG verglichen und nach notwendigen Anpassungen freigegeben wurden. Eine

zusätzliche Validierung erfolgte ab April 2022 in enger Abstimmung zwischen SG, IIP und ÖÖW, was sowohl den inhaltlichen Umfang (und notwendige Erweiterungen) der implementierten Indikatoren, die Güte und Portionierung der Informationsarchitektur als auch die Vereinheitlichung von Ordnungsstruktur und Nomenklatur betraf, und was verschiedene Korrekturen und Ergänzungen nach sich zog, die bis zum Projektende durchgeführt und abgeschlossen wurden. Mit dem AGW konnte auch die Darstellung der Ökosystemleistungen projektübergreifend harmonisiert werden.

Die Validierung der Realdaten sowie die Verwertung des Feedbacks der städtischen Partner wurde gemeinschaftlich und unter Federführung des KIT durchgeführt. Die Modellergebnisse des Ist-Zustands zeigten gute Übereinstimmungen zu den verschiedenen durchgeführten Einzel-Erhebungen und Erfahrungswerten. Die Untersuchung der Nutzung von alternativen (open data) Datenquellen zeigte eine Abhängigkeit von den kommunalen Daten. Die Studie „Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung – Zwischenergebnisse aus NaMaRes“ [4] geht dazu auf eine mögliche Verwendung von OpenStreetMap-Daten ein und schlussfolgert, dass die Ziele mit dieser Datengrundlage nicht erreicht werden können und daher amtliche, kommunale Daten für die Quartiersbewertung unerlässlich sind. Überarbeitungen und Weiterentwicklungen ausgewählter Indikatoren sind in den Abschnitten zu den AP 2 (3.1.3), AP 5 (3.1.6), AP 7 (3.1.8) und AP 8 (3.1.9) beschrieben.

3.1.10.2 Akzeptanztests

Ein erster Betatest des bis dahin entwickelten Prototypen im Entwicklungsstadium wurde in Form des 1. Komponententests im Sommer 2021 mit ausgesuchten Benutzer/-innen durchgeführt. Dazu erhielten die Verbundpartner/-innen der Stadt Karlsruhe (Stadtplanungs- und Umweltamt) und des Ingenieurbüros Sippel.Buff je zwei personalisierte Zugänge zum Auswertungsbereich des Teilbereichs Boden und zum manuellen Entsiegelungsrechner. Weiterhin erhielten die Testpersonen einen unterstützenden Fragenkatalog, der die wesentlichen Aufgaben zur Prüfung und Test kurz skizziert und darüber hinaus

strukturiertes Nutzer/-innenfeedback ermöglicht hat. Zuvor wurde die Anwendung weitestgehend in Form von Mockups und Live-Demonstrationen während der Projekttreffen demonstriert, sodass seitens der späteren Benutzer/-innen somit ein erster unmittelbarer Eindruck unter realen Anwendungssituationen bei der Benutzung der Anwendung gewonnen werden konnte. Der Test zeigte, dass die entwickelte Anwendung von den Benutzer/-innen akzeptiert und für gut befunden wurde und dass sie grundsätzlich funktionierte, aber auch, an welchen Stellen funktionelle Erweiterungen und generelle Verbesserungen nötig waren (v. a. bzgl. der Usability – 3.1.10.3) oder perspektivisch im Zuge der Weiterentwicklung sinnvoll sein können.

Kurz vor Projektende in 2022 wurde die Entwicklungsarbeit zunächst beendet und ein solider Stand der prototypischen Webanwendung fertiggestellt. Die projektabschließende Version der Webanwendung konnte somit zum weiteren Testen mit den Verbundpartnern und späteren Anwender/-innen bereitgestellt werden. Feedbacks daraus können für die Verstetigungsphase berücksichtigt werden.

Im Rahmen des Projektes konnten die nachfolgend identifizierten Zielbedürfnisse erfüllt bzw. für die weitere Entwicklung grundlegend vorbereitet werden:

- Interner Nutzen v. a. für das Stadtplanungsamt (initialisierend): Bestandsanalyse (Inventar und weitergehende Inventur) eines Quartiers in der Anwendung; gute Beschreibung des Bestands und seiner Potenziale inkl. Bewertung. Das perspektivische Ziel soll es sein, Bezugswerte für späteres Benchmarking (vergleichende Analyse) und eine potenzielle Frühwarnung finden.
- Nutzen zur Eigentümeraktivierung: Die Notwendigkeit das Tool zu Beratungsterminen vor Ort einzusetzen ist gegeben. Hierbei liegt der Fokus auf einer einfachen Bedienung auch auf dem Mobilgerät. Der Bestand inkl. den Chancen und Missständen vor Ort soll einfach abgebildet und dokumentiert werden. Pro Fläche/Aggregat sollen ggf. einfache Eingaben zur weiteren Qualifizierung/Quantifizierung möglich sein. Die Grundlagen dafür sind mit dem manuellen Rechner-Modul gegeben.

Die weitere Ausführung zur Entscheidungs- und Planungsunterstützung ist für die Verstetigungsphase angedacht.

- Nutzen für die kommunalpolitische Agenda: Vergleichende Analysen von Flurstücken, Baublöcken, von Flurstück zu Baublock, v. a. zur Identifikation/Lokalisierung von Hotspots mit dem Ziel, strategische Maßnahmen und Schwerpunkte für kommunale Förderprogramme abzuleiten.

3.1.10.3 Test der Usability des erstellten Werkzeuges

Aus den Test-Feedbacks und diversen bilateralen Gesprächen ergaben sich über den jeweiligen Stand der Anwendung hinaus verschiedene Bedürfnisse, die priorisiert nach Aufwand und Nutzen im weiteren Verlauf der Entwicklungs- und Anpassungsphase durch SG implementiert wurden. Nachfolgend sind die bis dato erfolgten programmtechnischen Anpassungen und Modifikationen nach Test-Feedbacks und Wünschen der Projektpartner/-innen und Zielanwender/-innen kurz zusammengefasst:

- Massenauswertung und Suche nach Flurstücknummer: Eine Filter-Funktion für alle Teilbereiche der Auswertung (Boden, Dächer und Fassaden) wurde integriert, mit der die Mehrfachauswahl mehrerer Flurstücke möglich ist. Das Filtern nach Eigentumsverhältnis, Befestigung und Flächengröße in Quadratmeter (Hof/Gesamt) ist gewährleistet.
- Anzeige des Gesamtbefestigungswertes: Die Anzeige des Gesamtbefestigungswertes eines ausgewählten Aggregats wurde umgesetzt.
- Verbesserung der Darstellung: Farben der Befestigungswerte, der Befestigungsarten sowie der Biotoptypen- und Kategorien wurden klar definiert und differenziert. Zusätzlich wurden Kartenlegenden integriert.
- Legendendarstellung: Die Legendendarstellung wurde insgesamt vergrößert und zur flexibleren Kartendarstellung um einen Transparenzregler erweitert. Die Kartenansichten insgesamt wurden verbessert, Flächen gegeneinander noch besser differenziert.
- Allgemeine Hinweise: Ein allgemeiner Altlastenhinweis wurde hinzufügt.

- Quellen und Hilfen: Quellenhinweise und diverse Hilfsinformationen für die Nutzer/-innen (methodische Erklärungen zu einzelnen Indikatoren und zum Wording/zur Spezifikation allgemein) wurden in Rücksprache mit IIP und ÖÖW direkt in der Anwendung hinterlegt.
- Darstellungsfehler: Eine formale Anpassung von Darstellungsfehlern über alle Monitor- und Gerätegrößen ist erfolgt. Ebenso wurde, die funktionelle Gewährleistung aller Komponenten geprüft und technische Fehler, die Berechnung oder Darstellung betrafen, behoben.
- Markierung der manuellen Bearbeitung: Ein Hinweis, welches Flurstück mit dem manuellen Rechner bearbeitet wurde, wurde in der Liste aller manuell erfolgten Berechnungen untergebracht.
- Orientierung/Navigation: Vom anfangs verwendeten Einstieg in die Teilbereiche über die zentrale Auswahl eines Handlungsfeldes/einer Ressource wurde Abstand genommen. Dagegen wurde ein „maßnahmenorientierter Einstieg“ umgesetzt. Dazu wurde die gesamte Seitennavigation abschließend nochmals überarbeitet sowie eine unterstützende solide sog. „breadcrumb“-Navigation erstellt, die den Anwender/-innen eine einfache Orientierung innerhalb der Webanwendung sowie eine homogene Navigation zu und zwischen den Teilbereichen und Themen bietet.

Zurückgestellt, da in Projektphase 1 nicht priorisiert, wurden die folgenden Entwicklungsaufgaben:

- Druckfunktion bzw. PDF-Exportfunktion
- Manipulation u. a. der Kostenwerte: Für die Bodenentsiegelung hinterlegte Kostenwerte für Rückbau und Neugestaltung sind in der Anwendung voreingestellt und derzeit nicht durch den Nutzer anpassbar. Dies ist als konkrete Aufgabe für die Projektverstetigung angedacht.
- Generelle Erweiterung der Filter- und Auswahl-Funktionalität
- Überarbeitung des „Manuellen Entsiegelungsrechners“ hinsichtlich einer noch besseren und intuitiven Benutzbarkeit. Dieser kann potenziell mit einem „Quick-Guide“ direkt in der Anwendung sowie mittels Be-

nutzerhandbuch erklärt werden. Dies wurde bereits als konkrete Aufgabe für die Projektverstetigung festgelegt. Auch Stand heute ist ein schneller Lernerfolg gewährleistet, sodass Nutzer/-innen mit etwas Übung relativ leicht mit dem Rechner-Modul arbeiten können.

3.1.10.4 Integrationstest, ggf. programmtechnische Anpassungen

Integrationstests der verschiedenen Anwendungsteile und -einheiten erfolgten fortlaufend und explizit je nach Integration neuer Datenbankauszüge und Skripte, die vom IIP sukzessive über die gesamte Projektlaufzeit bis zum Februar 2022 geliefert wurden. Mit Einzeltests wurden die verschiedenen voneinander abhängigen und unabhängigen Komponenten des Gesamtsystems und deren Zusammenspiel miteinander getestet. Etwaige Probleme wurden identifiziert und ggf. Lösungen für funktionelle und/oder strukturelle Probleme gefunden. Somit konnte während des gesamten prototypischen Softwareentwicklungsprozesses durch die häufigen Iterationen stets gewährleistet werden, dass bestehende und neu implementierte Programmeinheiten und deren Inhalte und Funktionen durch unterschiedliche Personen bei SG intern und auch seitens des IIP getestet, evaluiert, modifiziert und für gut und funktionsfähig befunden wurden.

3.1.11 Auswertung der Ergebnisse aus AP8 und Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen für kommunale Entscheider im Quartier Innenstadt-Ost (AP 10)

3.1.11.1 Prüfung der Modellergebnisse auf ihre Plausibilität

Die Modellausgaben wurden im Projektverlauf ständig auf Programmierfehler (Bugs) und Plausibilität geprüft. Dabei wurde insbesondere auf Sonderfälle geachtet wie besonders kleine oder große Maßnahmen/Flächen, verschiedene Kombinationen von Restriktionen, etc., um Randfälle zu identifizieren und dafür Lösungen zu entwickeln. Neben der besonderen Berücksichtigung von Rand- und Sonderfällen, wurden mittels Zufallsziehungen die anderen Ergebnisse und Modellausgaben geprüft. Neben dieser Prüfung seitens der Model-

lierer wurden die Ergebnisse fortlaufend mit den Projektpartnern geteilt und bei den Treffen vorgestellt und diskutiert. Für die Einordnung der Ergebnisse wurde auch auf zahlreiche Literaturquellen zurückgegriffen und seitens der jeweiligen Expert/-innen im Konsortium begutachtet. Da die Modellergebnisse und -ausgaben in der Webanwendung separat aufbereitet werden, fanden hierzu separate und zusätzliche Prüfungen statt.

In enger Abstimmung mit dem KIT wurde die entwickelte Webanwendung in mehreren Abstimmungsrunden auch bilateral evaluiert und auf eine konsistente, homogene und korrekte Gesamterscheinung hin harmonisiert. Die wesentlichen Aufgaben waren dabei: die Prüfung der Korrektheit der Berechnungsergebnisse innerhalb der Anwendung im Abgleich mit den ermittelten Ergebniswerten des IIP, die Vereinheitlichung der Nomenklatur über alle Projektbausteine (u. a. mit Typologie und Wording der Leitfäden) in enger Zusammenarbeit mit dem ÖÖW, die korrekte Integration der Ökosystemleistungen in den manuellen Rechner sowie die Darstellung der vom AGW erhobenen Biotoptypen im Kartendienst. So konnte durch SG projektabschließend eine von allen Partnern validierte Webanwendung zur Verfügung gestellt werden.

3.1.11.2 Ableitung von Handlungsempfehlungen aus der Analyse der Szenarien zur Erhaltung und Entwicklung der quartiersbezogenen Ressourcen

Der Handlungsdruck zur Erhaltung und Entwicklung von quartiersbezogenen Ressourcen ist hoch und wird von Stadtplaner/-innen und Stadtentwickler/-innen erkannt. Jedoch bietet das aktuelle, formelle Instrumentarium für Bestandsquartiere nur einschränkte Möglichkeiten nachhaltigkeitsfördernde Strategien durchzusetzen. Im Hinblick auf die Leitlinie der doppelten Innenentwicklung, Bestandspotenziale für den Siedlungsbau auszuschöpfen und zeitgleich die Begrünung von Quartieren zu qualifizieren, erzeugen diese Einschränkungen ein komplexes Handlungsfeld.

Die entwickelten Leitfäden [31–35] gehen auf diese Lage ein und zeigen, wie mit den aktuell verfügbaren Mitteln gehandelt werden könnte. Diese informatorische Anleitung und die im Projekt gewonnen quantitativen Ergebnisse und der Erfahrungsaustausch konnten für die Ableitung von allgemeinen und untersuchungsgebietspezifischen Handlungsempfehlungen genutzt werden. Diese sind im Ergebnisbericht [56] dokumentiert.

Indikatoren können die Planung und Umsetzung einer nachhaltigen Quartiersentwicklung unterstützen. In ausgewählten Fällen muss die Datenerhebung jedoch um weitere Themenbereiche ergänzt werden. Dies kann durch eine ämterübergreifende Zusammenarbeit und die Kooperation mit Institutionen wie Stadtwerken, Verbänden von Immobilieneigentümern usw. unterstützt werden. Als Barriere erweist sich z. T. der Datenschutz bzw. die damit verbundene Unsicherheit. Es wird empfohlen, Regelungen zu schaffen, die eine freiwillige „Datenspende“ der Bürger als besondere Form der Partizipation zulassen. Es wird empfohlen, kontinuierlich an Aufbau und Pflege von Befestigungsdaten, Solar-, Material- und Baulückenkatastern zu arbeiten. Das im Projekt konzipierte Oberflächeninventar schafft eine hervorragende Arbeitsgrundlage für explorative Analysen und Entscheidungsunterstützungswerkzeuge und -analysen.

Zusammenfassung der Handlungsempfehlungen:

- Grundlage für die Anwendung von Strategien und die vorgeschlagene fünfstufige Hierarchie (siehe Ergebnisbericht [56] und Leitfäden [31–35]) ist eine quantitative und vergleichbare Bewertung von vorhandenen Ressourcen und Potenzialen in Quartieren. **Die Nutzung und die Verschneidung der kommunalen Daten zeigt eine sehr vielversprechende, noch wenig genutzte Datengrundlage. Eine der Hauptempfehlungen an Kommunen ist, diesen Datenschatz zu nutzen.** Die im Projekt aufgebaute Datenbank und das entwickelte Modell haben sich als praxisnah und umsetzbar erwiesen. Die erforderlichen Kompetenzen für entsprechende Umsetzungen sollten in größeren Kommunen und Städten vorhanden sein. Die im Projekt geleisteten Veröffentli-

chungen dienen dazu als Muster und dokumentieren alle wesentlichen inhaltlichen Bestandteile (abgesehen von der Webfähigkeit und der Visualisierung). Größere Herausforderungen stellen vermutlich die personellen Kapazitäten und fachliche Arbeitsteilungen in den Städten und Kommunen dar. Für kleinere oder ausgelastete Verwaltungen wurde mit dem Praxispartner Smart Geomatics daher ein solider Grundstein für ein unterstützendes Dienstleistungsprodukt gelegt.

- Das Bearbeitungsraster ist mit den Zielen und dem verfügbaren Instrumentarium abzugleichen. **Für den Städtebau und Stadtentwicklung ist ein fundamentales und formelles Raster wie das der Flurstücke, anderen nicht handlungsleitenden Rastern** (z. B. grobe oder nicht mit formellen Karten übereinstimmende Punktwolken oder Gitterraster) **zu bevorzugen**. Erkenntnisse auf Flurstückebene lassen sich besser in Strategien formulieren und umsetzen als welche durch z. B. Satellitenauflösung und -flugrichtung bestimmte Raster.
- Ein hoher Anteil der Flächen innerhalb von Städten ist vollversiegelt, was sich negativ auf die Hitzebelastung, den Wasserabfluss und die natürlichen Ökosystemleistungen dieser Bereiche auswirkt. Vor allem in den Sommermonaten werden voll versiegelte Flächen durch die Sonneneinstrahlung deutlich stärker aufgeheizt als teilversiegelte oder unversiegelte Flächen. **Unter diesem Gesichtspunkt sollten mehr Entsiegelungen in Städten durchgeführt werden.** Nicht alle Flächen müssen vollversiegelt sein, um ihre Funktion zu erfüllen. So ist es zum Beispiel möglich, die Stellflächen für Müllbehälter und Abstellflächen für Fahrräder in Hinterhöfen zu entsiegeln und nur partiell zu verdichten/versiegeln. Genutzt werden könnten zum Beispiel Rasengitter oder Porenpflastersteine. **Grünflächen in der Stadt sollten gefördert werden, da diese einen positiven Einfluss auf die direkte Umgebung zeigen.** Zudem haben öffentlich zugängliche Grünflächen eine Erholungsfunktion für die Stadtbewohner/-innen. Dies kann zum Beispiel mithilfe eines festgelegten prozentualen Anteils an unversiegelten Flächen für eine Stadt erfolgen oder durch Festlegung einer Grünflächenzahl als

Vergleichswert, um eine Verbesserung der Situation auch überprüfen zu können.

- **Umweltgerechtigkeit in Städten sollte Beachtung finden.** Zur Bestimmung der Umweltgerechtigkeit werden die Umwelt- und Lebensverhältnisse unterschiedlicher sozialer Schichten analysiert. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der sozialen Situation, dem Einkommen, der Bildung, der Gesundheit und den Umweltbelastungen. Je besser die soziale Situation, desto geringer fallen meist die Umweltbelastungen aus. Bei der näheren Betrachtung von Grünflächen in Städten ist ein Aspekt der Umweltgerechtigkeit die Zugänglichkeit von privaten und öffentlichen Grünflächen. Nur wenn Grünflächen den Stadtbewohnenden auch zugänglich sind, können diese auch zur Erholung genutzt werden. Besonders öffentliche Grünflächen sollten ohne Einschränkungen oder abgeschlossene Tore zugänglich sein. Wie bei der Biotoptypenkartierung und Baumkartierung in den privaten Hinterhöfen der Innenstadt-Ost in Karlsruhe gezeigt werden konnte, handelt es sich bei zahlreichen Grünflächen mit höherwertiger Artausprägung um ausschließlich privat zugängliche Grünflächen. Diese Unterteilung in private und öffentlich zugängliche Grünflächen hat Vor- und Nachteile. Dies könnte beispielsweise im Rahmen der öffentlichen Förderprogramme berücksichtigt werden.
- **Die Beschattung öffentlicher Spielplätze sollte gefördert/umgesetzt werden.** Hierfür könnten die Gestaltungskonzepte der öffentlich zugänglichen Plätze im Detail betrachtet werden und eventuell die Anordnung der Spielplatzelemente so angepasst werden, dass diese Bereiche nicht direkt über einen längeren Zeitraum von der Sonne beschienen werden. Eine direkte Sonneneinstrahlung über einen längeren Zeitraum wirkt sich negativ auf die Gesundheit aus. Durch eine angepasste Beschattung durch Stadtbäume und weitere Beschattungselemente, wie zum Beispiel Sonnensegel, kann die klimatische Belastungssituation durch die direkte Sonneneinstrahlung verringert werden.

- **Bei der Neuanpflanzung von Stadtbäumen sollte darauf geachtet werden, dass diese mit den klimatischen Verhältnissen in Städten zurechtkommen.** So sollten hitzeangepasste Baumarten bevorzugt genutzt werden.
- **Blaue-Infrastrukturen sollten hinsichtlich ihrer Integration als Hitzeanpassungsmaßnahmen oder Niederschlagswasserpuffer entsprechend dimensioniert werden.**
- Zudem sollte die Entwicklung von gestalterischen Möglichkeiten zur nachhaltigen Integration der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur gefördert werden.
- **In Städten sollten höherwertige Biotoptypen gefördert werden.** So ist zum Beispiel eine unversiegelte Fläche, auf der sich ein Beet oder eine Rabatte mit hoher Artenvielfalt befindet, einer versiegelten Fläche vorzuziehen. Alle unversiegelten Flächen können mehr Ökosystemleistungen als versiegelte Flächen zur Verfügung stellen. Zur Einschätzung der Wertigkeit der unterschiedlichen Biotoptypen und deren Ausprägung könnte die Ökokontoverordnung aus Baden-Württemberg angewendet werden.
- **Auch Maßnahmen, die im Kontext einer nachhaltigen Quartiersentwicklung zur Verbesserung der Ressourceneffizienz beitragen, sind einer Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen.** Bei baulich-technischen Maßnahmen schließt dies eine **Ökobilanzierung** (Inanspruchnahme von Ressourcen, Wirkungen auf die globale Umwelt) **sowie die Lebenszykluskostenrechnung** ein. Für realisierte Maßnahmen sollte eine **Erfolgskontrolle** sowie ein Prozess der kontinuierlichen Verbesserung nachgeschaltet und ein dauerhaftes Monitoring etabliert werden.
- Empfohlen wird weiterhin, durch die Anwendung mehrerer Indikatoren und Bezugsgrößen (z. B. pro ha und pro Einwohner/-in) **Zielkonflikte zu identifizieren** und eine Verschiebung von Umweltbelastungen in andere Bereiche zu unterbinden.
- **Vorliegende Datenbestände sollten auf dem aktuellen Stand gehalten werden**, zum Beispiel das Baumkataster oder die Befestigungsdaten.

- Die Kreierung intelligenter und transparenter Förder-/Sanktionierungssysteme zur zielorientierten Motivation nachhaltiger Systeme wäre sinnvoll.
- **Nachhaltigkeitsberichterstattung auf Quartiersebene**: Es kann und soll überprüft werden, ob und inwieweit die Indikatoren zur nationalen Nachhaltigkeitsberichterstattung so weiterentwickelt werden können, dass sie sich für eine Anwendung auf Quartiersebene eignen. Im Minimum sollten die für den Betrachtungsgegenstand Quartier geeigneten Indikatoren markiert werden. Beispiele für solche Indikatoren geben die Projektergebnisse wieder (z. B. in AP 8).
- Die Untersuchungen und Ergebnisse zum **Rückbau von Infrastrukturen,** wie im Fall der pneumatischen Müllentsorgung im untersuchten Quartier, zeigen, dass Baumaßnahmen, die die Eigentümer durchführen, **finanziell unterstützt werden** sollten.
- **Ausweitung der Nutzung von Ökopunkten**: Aus den Ergebnissen der Abfallbehältersituation und z. B. bei der Umstellung der pneumatischen Abfallsammlung (PME) auf behältergebundene Abfallsammlung wird deutlich, dass während der Betriebszeit der PME für die Abfallbehälter keine Flächen gebraucht wurden, da die Abwurfschächte für die Abfälle in den jeweiligen Treppenhäusern oder Fluren integriert sind. Bei der behältergebundenen Abfallsammlung werden für Abfällen von 2.520 Einwohner/-innen nun ca. 3.800 m^2 zusätzliche Stellfläche für die Abfallbehälter erforderlich. Mittels z. B. Ökopunkten lassen sich die notwendigen Flächen gegenüber alternativen Nutzungen bewerten und damit eine bessere Entscheidungsgrundlage berechnen.

3.1.12 Erarbeitung eines Leitfadens für kommunale Entscheider (AP 11)

In diesem AP wurden zusätzlich zu den geplanten Aufgaben Erweiterungen vorgenommen. Diese Erweiterungen betreffen (1) die Aufteilung des geplanten Leitfadens in thematische Veröffentlichungen zu den jeweiligen einzelnen

Teilthemen sowie (2) die zusätzliche Erstellung eines Leitfadens für die Bewertung von Ökosystemleistungen. Die Leitfäden [31–35] befinden sich noch im Veröffentlichungsprozess (Stand Dezember 2022). Eine zeitnahe Veröffentlichung wird erwartet.

3.1.12.1 Grundprinzipien der nachhaltigen Quartiersentwicklung

Im Ergebnis konzeptioneller Überlegungen wurde entschieden, für einzelne Themenbereiche wie Fläche, Wasser, Stoffe und Ökosystemleistungen einzelne Leitfäden zu erarbeiten. Dies soll deren gezielte Anwendung unterstützen. Beschrieben werden die Grundlagen und Prinzipien, die verallgemeinerungsfähig dem jeweiligen Themenfeld zuzuordnen sind, illustriert mit Beispielen aus konkreten Projektteilen für Karlsruhe. Die Grundprinzipien werden in einer gleichzeitigen und gleichberechtigten Betrachtung sowohl der Themenfelder als auch der Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung gesehen, ergänzt durch einen klaren Akteursbezug mit handlungsleitenden Elementen. Ein weiteres Grundprinzip ist die Ableitung der Kriterien und Indikatoren aus übergeordneten Schutzgütern und Schutzzielen einer nachhaltigen Entwicklung, ergänzt um das Aufgreifen lokaler Herausforderungen und Bedürfnisse. Maßnahmen der nachhaltigen Quartiersentwicklung werden dabei selbst zum Gegenstand einer spezifischen Nachhaltigkeitsbewertung. Auf Grundprinzipien wird in Teilen des Leitfadens „Grundlagen“ [31] eingegangen.

3.1.12.2 Managementprozesse

Eine nachhaltige Quartiersentwicklung wird als Prozess und damit als Managementaufgabe interpretiert. Entsprechende Hinweise wurden in den Leitfaden „Grundlagen“ [31] eingearbeitet. Danach ist zunächst im Rahmen einer Grobanalyse unter Nutzung von Zustandsindikatoren festzustellen, ob und welche Probleme in den Themenfeldern Fläche, Wasser, Stoffe und übergreifend bei Ökosystemleistungen existieren bzw. welche Entwicklungsziele zu formulieren und zu erreichen sind (distance to target). Bei festgestellten Problemen oder neuen Zielen (z. B. Verbesserung der Effizienz der Nutzung natürlicher Ressourcen) können im Detail Ursachen analysiert,

Maßnahmen konzipiert und involvierte Akteursgruppen identifiziert werden. Ausgewählte organisatorische, technische und/oder bauliche Maßnahmen können im Ergebnis einer Vorplanung einem Variantenvergleich unterzogen und zur Realisierung vorgeschlagen werden. Dabei wird nicht nur ihre Performance bewertet, sondern auch ihr eigener Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung. Realisierte Maßnahmen werden einer Erfolgskontrolle mit der Möglichkeit einer Nachjustierung unterzogen und in ein permanentes Monitoring als Teil des Prozesses einer kontinuierlichen Verbesserung überführt.

In diesen Prozessen kann das im Projekt entwickelte Planungs- und Bewertungshilfsmittel (Softwareanwendung) genutzt werden, welches zuvor ermittelte Kennwerte und Erkenntnisse aufgreift. Es erfolgt eine Orientierung am Leitbild der ressourcenleichten Gesellschaft.

3.1.12.3 Handlungsfeld Fläche

Im Themen- und Handlungsfeld „Fläche“ [32] wird einerseits auf die Art der tatsächlichen Bodenbedeckung im Ergebnis der Nutzungsart der Flächen eingegangen. Basis ist eine entsprechende Systematik von Kategorien der Bodenbedeckung und Flächennutzung. Eine Bewertung kann im Zusammenhang mit der Erfassung entsprechender Ökosystemleistungen erfolgen. Relevante Themen sind die Bodenver- und Entsiegelung mit starken Bezügen zum Thema Wasser. Der nationale Indikator zur täglichen Zunahme der Verkehrs- und Siedlungsfläche ist weniger geeignet, da i. d. R. die Fläche des Quartiers statistisch der Verkehrs- und Siedlungsfläche zuzuordnen ist. Indikatoren zur Prozessqualität (z. B. Führen eines Baulückenkatasters) bzw. mit konkretem Bezug zum Quartier (Anteil und Qualität von Grünflächen, die einen Wärmeinseleffekt reduzieren) lassen sich vor Ort umsetzen.

3.1.12.4 Handlungsfeld Stoffe

Die Inanspruchnahme von stofflichen Ressourcen und die Möglichkeiten ihrer Beeinflussung im Rahmen einer nachhaltigen Quartiersentwicklung sind Gegenstand des Leitfadens „Stoffe“ [34]. Entsprechende Stoffströme können sowohl inputseitig als auch outputseitig untersucht werden, während das

Quartier als Stofflager interpretiert werden kann. Im spezifischen Teil des Projekts wird auf Möglichkeiten der Sammlung, Aufbereitung und Vermeidung von Siedlungsabfällen und den Aufbau von Sammelsystemen eingegangen. Es ergeben sich Wechselwirkungen mit dem Thema der Flächen. Für die Bewertung des Abfallaufkommens pro Kopf werden Kennwerte zur Verfügung gestellt. Im allgemeinen Teil werden Möglichkeiten einer Reduzierung von Stoffströmen, durch Mehrfachnutzung/Sharing, Tauschbörsen und Reparaturmöglichkeiten im Quartier diskutiert. Auf die Möglichkeiten der Reduzierung von Stoffströmen beim Bauen und Modernisieren wird eingegangen.

3.1.12.5 Handlungsfeld Wasser

Das Thema „Wasser“ [35] wird in einem spezifischen Teil der Serie von Leitfäden behandelt. Es ist sehr komplex und behandelt sowohl die Versorgung mit Trinkwasser, die Aufbereitung von Abwasser, die Neubildung von Grundwasser und die Vermeidung von Hochwasser, u. a. durch Regenwasserrückhaltung und -bewirtschaftung. Es ergeben sich enge Wechselwirkungen mit den Themen Fläche (Versiegelung), Stoffe (Verunreinigungen) und Ökosystemleistungen (Verdunstungskühle). Beim Thema des Aufwands an Trinkwasser wird neben der Tarifgestaltung und des unmittelbaren Verbrauchs auch auf Leitungsverluste im Netz der Versorger eingegangen. Wie auch bei den übrigen Leitfäden werden rechtliche Grundlagen analysiert, zuständige bzw. involvierte Akteure identifiziert und deren Handlungsmöglichkeiten analysiert. Ansätze und Leitbilder der Schwammstadt werden diskutiert.

3.1.12.6 Handlungsfeld Ökosystemleistungen

Neben den Ressourcen Fläche, Wasser und Stoffe wurde das Thema der „Ökosystemleistungen“ als Ressource interpretiert und im Projekt als einen weiteren Schwerpunkt der Stadtforschung und des Ressourcenmanagements auf Quartiersebene behandelt. Sehr früh wurde festgelegt, auch für diesen Bereich einen Leitfaden zu erstellen. Der erarbeitete Leitfaden [33] geht insbesondere auf die Kartierung und Bewertung von Ökosystemleistungen ein.

Die praxisnahe Ausrichtung soll die eigentliche Umsetzung der Bewertung von Ökosystemleistungen im Städtebau und der Stadtplanung unterstützen.

3.1.12.7 Vorstellung, Veröffentlichung und Verwendung des Leitfadens sowie Kommunikation der Ergebnisse

Der größte Teil der Ergebnisse konnte bereits wissenschaftlich veröffentlicht und dem Fachpublikum präsentiert werden. Dazu gehörte auch die Vorstellung der Produkte des Forschungsvorhabens. Hervorzuheben sind folgende Veranstaltungen (weitere in Abschnitt 3.7):

- Beyond - World Sustainable Built Environment Conference (2020), Online, 2.–4. November 2020.
- DFNS 2021 - Dresdner Flächennutzungssymposium am 28. und 29. Juni 2021 im Steigenberger Hotel de Saxe, Dresden

Eine öffentliche Vorstellung und umfassende Kommunikation der finalen Ergebnisse im Quartier und durch die Stadt Karlsruhe konnte (Stand Dezember 2022) noch nicht durchgeführt werden.

Im September 2020 erfolgte die Bewerbung von Begrünungsmaßnahmen in der Innenstadt. Auf dem Kronenplatz (28.09.2020) und dem Lidellplatz (30.09.2020) wurden Informationsstände von Gartenbauamt und Stadtplanungsamt gemeinsam bespielt. Niederschwellig wurden Entsiegelungs- und Begrünungs- und Fördermöglichkeiten vorgestellt sowie Beratungstermine angeboten. Darüber hinaus wurde über das Thema „Bürgerschaftliches Engagement im öffentlichen Grün“ informiert. Die Eigentümer/-innen und Bewohner/-innen des Sanierungsgebiets Innenstadt Ost wurden persönlich per Einladungsschreiben eingeladen. Am 16.10.2021 fand organisiert durch das Stadtplanungsamt, unterstützt durch das Büro Sippel.Buff und das KIT, ein Hinterhofspaziergang zum Thema „Aufwertung von Hofräumen – Entsiegelung und Begrünung“ statt, zu dem Interessierte über eine Pressemeldung eingeladen waren. Dort hat das KIT über das Projekt NaMaRes berichtet. Es besteht

weiterhin die Intention im Rahmen zukünftiger Veranstaltungen und der Nachnutzung des Webtools die Ergebnisse weiter zu kommunizieren.

Die erstellten Leitfäden [31–35] wurden öffentlich zugänglich gemacht. Die Veröffentlichung erfolgte über die Projektwebseite sowie den Verlag des KIT (Stand Dezember 2022).

3.2 Zielerreichung

Nach der Darstellung der Ziele und Teilziele in Kapitel 3.1.1 und den durchgeführten Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens wird im Folgenden die Zielerreichung der einzelnen Teilziele zusammengefasst (Tabelle 14). Die Art der Zielerreichung und eine detaillierte Beschreibung der dazu ausgeführten Arbeiten sind in den jeweiligen Kapiteln und Abschnitten aufgeführt.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Zielerreichung des Forschungsvorhabens.

Teilziel	**Geplante Zielerreichung in …**	**Ziel erreicht?**	**Beschreibung der Arbeiten in …**
Ermittlung der Grundlagen, Entwurf des Gesamtkonzepts, Definition nachhaltiger Stadtraumtypen	AP 2	Ja	3.1.3
Identifizierung von Systemgrenzen und relevanten (Teil-)Ressourcen; Identifizierung der relevanten Akteur/-innen, ihrer Motive und Hemmnisse	AP 2	Ja	3.1.4
Auswahl von Indikatoren auf Quartiersebene, anhand derer sich eine Ressourcenbilanz erstellen und die Ressourceneffizienz ermitteln und bewerten lässt.	AP 2 (unterstützt durch AP 3, 5, 7 und 8)	Ja	3.1.3.2, 3.1.4.1, 3.1.4.2, 3.1.6.2, 3.1.8, 3.1.9.1,
Datenerhebung von Infrastruktur, Bauwerken, ökologische Ressourcen; Datenhaltung	AP 3	Ja	3.1.4, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7

Tiefenrecherche zu Ressourceneffizienzmaßnahmen	AP 3	Ja	3.1.4.2, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7
Datenbankaufbau	AP 3	Ja	3.1.4.3
Datenerhebung der Akteure und Akteursnetzwerke	AP 4	Nein bzw. nur teilweise	3.1.5
Werkzeuge zur Aufbereitung und Verarbeitung von kommunalen und erhobenen Daten	AP 5 (unterstützt durch AP 6)	Ja	3.1.6, 3.1.7, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7
Methodik und Modellierung der Bewertung der Indikatoren, des Ressourceninventars und von Interventionsmaßnahmen auf Quartiersebene	AP 5	Ja	3.1.6.2, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7
Design und Erprobung einer nutzerorientierten Web-Anwendung.	AP 6	Ja	3.1.7.2
Festlegung des Untersuchungsrahmen und von Untersuchungsziele für das Quartier Innenstadt-Ost in Karlsruhe in Form von Entwicklungsszenarien	AP 7	Ja	3.1.8, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7
Berechnung und Auswertung der Modellergebnisse in Bezug auf den definierten Untersuchungsrahmen und -zielen	AP 8	Ja	3.1.9, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7
Test der Web-Anwendung durch potenzielle Anwender/-innen	AP 9	Ja	3.1.10
Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	AP 10	Ja	3.1.11, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7
Ableitung von Handlungsempfehlungen im Allgemeinen und für das untersuchte Quartier	AP 10	Ja	3.1.11.2, sowie in den Veröffentlichungen vgl. 3.7
Erstellung von handlungsleitenden Leitfäden für kommunale Entscheider und Manager/-innen von Bestandsquartierten	AP 11	Ja	3.1.12 und [31–35]

3.3 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Kostenrahmen wurde, wie im Förderantrag beschrieben, eingehalten. Die im Projektantrag vorgesehene Zeitplanung des Projektes wurde in Abstimmung mit dem Projektträger um drei Monate überschritten. Es wurde ein gemeinsamer Antrag für eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung (bis 30.06.2022) gestellt, der von der Projektträgerschaft bewilligt wurde.

3.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, um die Projektziele zu erfüllen. Alle Arbeitspakete konnten bis auf wenige Ausnahmen vollumfänglich bearbeitet werden. Aufgrund äußerer und unvorhersehbarer Einflüsse (Covid-19-Pandemie) mussten geplante Arbeiten mit direkter Interaktion von Akteuren umgeplant oder gestrichen werden. Dies führte auch zu einer notwendigen kostenneutralen Laufzeitverlängerung. Trotz dieser Unwägbarkeiten konnten die Hauptziele des Projekts erreicht werden. Die erzielten vielversprechenden Ergebnisse sind ein wichtiger Schritt zur verbesserten Planung bzw. dem Ressourcenmanagement in Quartieren und zur Verwertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens (vgl. Kapitel 3.5), die von einigen der Projektpartner im Rahmen der aktuellen Fördermöglichkeiten – insbesondere der Verstetigungsphase der gleichen Fördermaßnahme – verfolgt wurde. Die Phase II der Förderung wurde erfolgreich beantragt und das Verstetigungsprojekt mit einer Laufzeit von 2 Jahren wurde im Sommer 2022 begonnen.

Aufgrund der Dringlichkeit der Themen der Ressourcennachhaltigkeit und Klimaanpassung in Städten sowie der nationalen und lokalen politischen Agenda ist mit einem noch höheren Bedarf an wissenschaftlich fundierten und

nutzerorientierten Entscheidungsunterstützungs- und Quartiersanalysewerkzeugen zu rechnen. Bei den Indikatoren wurde festgestellt, dass die Übertragbarkeit auf die Quartiersebene sorgfältig geprüft werden muss. Die im Projekt entwickelten und zusammengetragenen Indikatoren helfen dabei, die Ressourcen Wasser, Fläche, Stoffe und Ökosystemleistungen in einem einheitlichen und vergleichbaren Bearbeitungsraster zu bewerten.

Erfahrungen bisheriger Quartiersanierungen bestätigen, dass viele lokale Potenziale für die Ressourcennachhaltigkeit und Klimaanpassung nicht ausgeschöpft werden. Einerseits liegt dies an den begrenzten personellen Kapazitäten, der manchmal prozesshemmend verteilten oder fehlenden Fachkompetenz in den kommunalen Verwaltungen und der suboptimalen Eignung von formellen Instrumenten in Bestandsquartiere und andererseits an der mangelnden Kenntnis über die Prioritäten und Wahrnehmung der Akteur/-innen im jeweiligen Quartier.

Mithilfe der in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Werkzeuge kann die Bewertung und Entscheidungsunterstützung in der Stadt- und Quartiersentwicklung verbessert und vereinfacht werden. Die entwickelte prototypische Softwareanwendung nutzt vorhandene und in der Stadtentwicklung und -planung regelmäßig verwendete Daten sowie zukunftsorientierte dreidimensionale Stadtmodelle, um neue und möglichst automatisierte quantitative Analysen der Bestandsquartiere durchzuführen. Die Nutzung bekannter Datenformate und Datenstrukturen verspricht eine praxisnahe Einbindung in bereits etablierte Strukturen und Prozesse. Die Analysemöglichkeiten reichen von theoretischen Potenzialen über technische Potenziale diskreter Interventionsmaßnahmen zur Evaluierung von lokalen Fördermechanismen. Die Erfahrungen bisheriger Tests zeigen, dass der Mehrwert gegeben ist, jedoch noch in den Prozessen der Verwaltungen etabliert werden muss. Unter anderem bildet dieser Aspekt einen Schwerpunkt für die zweite und genehmigte Förderphase.

Abschließend leisten die Leitfäden handlungsorientierte Unterstützung zur Bewertung von Potenzialen und Konflikten bei der Beanspruchung von Flä-

chen im verdichteten Quartier. Die im Forschungsvorhaben erarbeiteten Grundlagen und Leitfäden bieten einen aktuellen Einstieg in das Thema der Ressourceneffizienz der Bereiche Wasser, Stoffe, Fläche und Ökosystemleistungen als auch spezifisches Fachwissen zur Anwendung der Ergebnisse des Forschungsprojekts in Bestandsquartieren.

3.5 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Weltweit rechnen die Vereinten Nationen und auch in Deutschland die Prognosen des BBSR mit einer weiter steigenden Urbanisierung der Menschen. Daraus lässt sich ein immenser Druck auf die bestehende Infrastruktur und Bestandsquartiere ableiten. Zusätzlich sind international in den Sustainable Development Goals (SDGs) und in Deutschland im Klimaschutzplan der Bundesregierung Nachhaltigkeitsziele formuliert, welche ohne eine Umsetzung und Anpassung auf Quartiersebene nicht erreichbar sind.

Durch den starken Anwendungsbezug des gesamten Vorhabens ergänzen die Ergebnisse bereits bestehende Aktivitäten, Programme und Konzepte auf städtischer Ebene. Das Projekt trug und trägt aktiv zur wissenschaftlichen Community bei und ergänzt den dringenden Forschungs- und Handlungsbedarf in der Stadtforschung mit in der Praxis anwendbaren Lösungen. Während der Projektlaufzeit und zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts lagen mehrere Anfragen und Interessenbekundungen seitens wissenschaftlicher Einrichtungen und Kommunen und Städten zur Erprobung des entwickelten Werkzeuges vor. Für die zweite Förderphase mussten zunächst mehreren stark interessierten kommunalen Projektpartner Absagen erteilt werden, um eine geeignete Konsortiumsgröße zu erreichen. Dies zeigt, wie hoch das Interesse ist und gibt einen Ausblick auf den Bedarf.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts wurde die zweite Phase der Förderung zusammen mit einem teilweise neuen Projektkonsortium bestehend aus dem KIT, der Universität Potsdam, der Stadt Köln, Smart Geomatics und der Umwelt und EnergieAgentur des Landkreises Karlsruhe begonnen.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus diesem Forschungsvorhaben und insbesondere auch aus der anschließenden Verstetigungsphase können direkt in Aktivitäten der Kommune bzw. von Praxisakteuren angewendet werden:

Smart Geomatics

Mit der Stadtverwaltung Karlsruhe wurde die Vereinbarung getroffen, dass die Anwendung für zwei weitere Jahre bis zum Ende der Verstetigungsphase (Phase 2) durch die Stadt genutzt werden kann. Dazu wurden die bestehenden Datennutzungsvereinbarungen verlängert. Die Zugänge der Stadtverwaltung zur Webanwendung werden für diesen Zeitraum weiterhin zur Verfügung gestellt.

Seitens Smart Geomatics besteht großes Interesse daran, die bis dato entwickelte prototypische Webanwendung im Verbund mit den kommunalen Partnern in Phase 2 hinsichtlich Anwendbarkeit und Tauglichkeit in der Praxis weiter zu verbessern und eine marktfähige Anwendung bereitstellen und mittelfristig etablieren zu können.

Der Austausch mit den wissenschaftlichen und städtischen Partnern und deren Perspektiven zu den relevanten Themen und Indikatoren der Kommunen war und ist hinsichtlich der Implementierung von Planungsprozessen und damit zur Umsetzbarkeit von Maßnahmen ein großer Mehrwert, der zukünftig weiter in die Entwicklungs- und Verstetigungsarbeit eingebracht wird.

Stadt Karlsruhe

In dem Projekt konnte die Anfangsphase der Aktivitäten im Sanierungsgebiet Innenstadt-Ost in Karlsruhe begleitet werden. Der Austausch mit der Wissenschaft und die erlangten Ergebnisse trugen konstruktiv zu der Evaluierung der

Situation im Quartier, der Erfassung der vorhandenen Potenziale und der Bewertung verschiedener Handlungsoptionen bei. Die Dynamik im Sanierungsgebiet mit einer bis zum Jahr 2030 gültigen Satzung wird sich noch verändern. Es wird sich weiter zeigen, wie sich die erzielten Projektergebnisse einsetzen lassen. Für eine Integration der Werkzeuge in das Tagesgeschäft standen personelle Kapazitäten bislang nicht hinreichend zur Verfügung, welche sich mit dem prototypischen Stand der Webanwendung sowie deren Weiterentwicklung umfassend auseinandersetzen können. Es ist geplant, die Ergebnisse aus NaMaRes vor allem zum Entsiegelungspotential bei der Umgestaltung von Höfen in Privateigentum im Sanierungsgebiet Innenstadt-Ost zur Bewertung heranzuziehen. Hierzu möchten das Stadtplanungsamt und das Amt für Umwelt- und Arbeitsschutz mit dem Dashboard in den nächsten Jahren mit einem beschränkten Nutzerkreis innerhalb der Stadtverwaltung Karlsruhe arbeiten. Ergebnisse werden in die praktische Arbeit integriert und unterstützen so Entscheidungen über Maßnahmen zur Ressourceneffizienz. Die im Karlsruher Projektgebiet gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen bieten eine wertvolle Grundlage für die Umsetzung von Maßnahmen zur Ressourceneffizienz in Kommunen der zweiten Projektphase hinsichtlich der Lessons-Learned, der Handlungsempfehlungen und der Anwendung des Softwaretools.

KIT

Das KIT und insbesondere das Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) sehen in den erarbeiteten Projektergebnissen ein großes Potenzial sowohl für die Forschung als auch für die praktische Anwendung bei einer Weiterentwicklung des bereits erstellten Planungsmodells. Aus diesem Grund ist das IIP bestrebt, die erarbeiteten Erkenntnisse im Ressourcenmanagement von Quartieren für dieses Anwendungsgebiet methodisch noch zu erweitern. Ziel des IIP ist es, in der Verstetigungsphase sowie in weiteren Forschungsarbeiten das in diesem Forschungsvorhaben erarbeitete Planungsmodell zu erweitern, sodass es einfacher nutzbar ist (beispielsweise hinsicht-

lich der Nutzerfreundlichkeit) und die Ergebnisse verbessert und umfangreicher sind.

Die Vorgehensweise zur Kartierung der Biotoptypen (AP 3.1 (3.1.4.1)) wurde bereits auf weitere Stadtgebiete übertragen. Eine Anwendung und Erweiterung erfolgten in der Innenstadt-West in Karlsruhe. Die Erweiterungen beinhalten die Erhebung der Fassadenbegrünung, der Potenzialflächen für Fassadenbegrünung, die Zugänglichkeit und die Aufenthaltsqualität. Eine weitere Anwendung der Vorgehensweise zur Kartierung der Biotoptypen erfolgte im Gebiet der Schwetzinger Vorstadt in Mannheim.

Weitere Verwertbarkeit der Projektergebnisse

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse wurden auf Fachveranstaltungen, wie beispielsweise der nationalen Konferenzen Dresdner Flächennutzungssymposium (DFNS 2021) sowie der internationalen Konferenz Beyond – World Sustainable Built Environment Conference (2020) vorgestellt. Durch die Teilnahme an Tagungen, Ausstellungen und Messen wurden und werden die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht. Außerdem erfolgten diverse Publikationen in begutachteten Fachzeitschriften (siehe 3.7).

Im Forschungsprogramm RES:Z und projektübergreifend wurden mehrere Aktivitäten durch das NaMaRes-Konsortium maßgeblich vorangetrieben und gestaltet. Zum Beispiel engagierten sich Prof. Dr.-Ing. Thomas Lützkendorf und Dr.-Ing. Rebekka Volk als Gast-Editoren des Special Issues „Resource Management in Urban Districts – a Contribution to Sustainable Urban Development“ der wissenschaftlichen Zeitschrift „Sustainability“ des MDPI-Verlags und trugen zu der Verbreitung der dort veröffentlichten Ergebnisse aus den RES:Z Projekten bei. Diese Sonderausgabe konzentrierte sich auf die effiziente und effektive Verwaltung von Ressourcen in der bebauten Umwelt zu einer nachhaltigeren Entwicklung von Stadtquartieren. Zu den betrachteten Ressourcen gehörten Energie, Wasser, Boden, Fläche und Flächennutzung, Stadtgrün und Materialien. Originäre Forschung über das Ressourcenmanagement in der

bebauten Umwelt, über die Sharing Economy, zur Stadtentwicklung, zur Quantifizierung, Überwachung und Optimierung der Ressourcennutzung, Überwachung und Optimierung der Ressourcennutzung und ihrer Auswirkungen, zu disruptiven Management- und Geschäftsmodellen und verwandten Themen waren willkommen. Darüber hinaus wurde die Überwachung von Luft, Wasser, Emissionen, Staub, Lärm, Schutt und Abfall sowie die Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen als Teil der nachhaltig bewirtschafteten städtischen Ressourcen berücksichtigt. Die Sonderausgabe lud zur Einreichung von Beiträgen zu drei Hauptthemen ein: (1) Grundlagen der städtischen Stoffstromanalyse und des Ressourcenmanagements (2) Ressourcenbewertung (3) Strategien und Handlungsempfehlungen. Durch ihr Engagement konnten insgesamt neun wissenschaftlich begutachtete Veröffentlichungen im Open Access herausgebracht werden: [3, 6, 7, 24–29].

Weitere Zusammenarbeiten führten zur Publikation der „Handreichung zur Typologie von Indikatoren sowie ihrer Anwendung in Planungsprozessen und Projekten zur nachhaltigen Quartiersentwicklung“ [30] und zur Mitgestaltung des RES:Z Lernmoduls.

Die Projektergebnisse werden zudem im Rahmen der Lehre am KIT und der Universität Potsdam eingesetzt.

Dieses Forschungsvorhaben ermöglicht es deutschen Unternehmen, ihr Know-how im Bereich Ressourceneffizienz in der Stadtentwicklung auszubauen, eine weltweit führende Rolle auf diesem Gebiet einzunehmen und der Know-how-, Software- und Dienstleistungs-Nachfrage auf diesem Gebiet nachzukommen. Aufgrund der steigenden weltweiten Nachfrage sind weitere Forschungen im Bereich der Ressourceneffizienz in der Stadtentwicklung sinnvoll.

Die Ergebnisse des Projekts werden in der zweiten Förderphase weiterentwickelt und das Modell wird (ohne Anwenderoberfläche) Teil weiterer Forschungskooperationen werden.

3.6 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Ergebnisse Dritter im Bereich einer vollständigen Bewertung von Ressourcennachhaltigkeit in städtischen Quartieren wurden nach Kenntnis der Autoren während der Laufzeit des Vorhabens nicht bekannt. Der begutachtete Beitrag „Urban Resource Assessment, Management, and Planning Tools for Land, Ecosystems, Urban Climate, Water, and Materials—A Review“ [3] befasste sich intensiv mit diesem Forschungsfeld und den in der Praxis eingesetzten Werkzeugen und zeigt Parallelen, Lücken und Unterschiede dieser auf. Im RES:Z-Förderprogramm sind oberflächlich gesehen ähnliche Fragestellungen und Themen bearbeitet worden. Jedoch unterscheiden sich die Ansätze, Anwendungsbereiche, Ziele und Fähigkeiten der entwickelten Werkzeuge und Einsatzszenarien deutlich.

3.7 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurden in Journalbeiträgen sowie auf dem Dresdner Flächennutzungssymposium 2021 und der BEYOND – World Sustainable Built Environment Conference 2020 vorgestellt. Der vorliegende Bericht wird auch im KIT Verlag veröffentlicht. Die Publikationen und Präsentationen werden im Folgenden aufgelistet:

Volk, R.; Lützkendorf, T.; Schambelon, S.; Naber, E.; Mörmann, K.; Böhnke, D.; Norra, S.; Schuhmann, R.; Ehbrecht, A.; Balouktsi, M.; Schultmann, F. (2020): Stakeholder-specific assessment of environmental, economic and social effects of resource-efficiency measures in urban districts - first results, 2020, Juni. Beyond - World Sustainable Built Environment Conference (2020), Online, 2.–4. November 2020 (Poster)

Volk, R.; Lützkendorf, T.; Schambelon, S.; Naber, E.; Mörmann, K.; Böhnke, D.; Norra, S.; Schuhmann, R.; Ehbrecht, A.; Balouktsi, M.; Schultmann, F. (2020): Stakeholder-specific assessment of environmental, economic and social effects of resource-efficiency measures in urban districts - first results, 2020. IOP conference series / Earth and environmental science, 588, Art.-Nr.: 052036. doi:10.1088/1755-1315/588/5/052036 (Konferenzbeitrag)

Böhnke D, Jerutka K. (2020): Stadtplätze: Zur Bewertung der Aufenthaltsqualität urbaner Räume, 2020. Stadt und Raum (6), 330 – 335

Boehnke, D., Krehl, A., Mörmann, K., Volk, R., Lützkendorf, T., Naber, E., Becker, R., and Norra, S. (2022). Mapping Urban Green and Its Ecosystem Services at Microsca-le—A Methodological Approach for Climate Adaptation and Biodiversity. Sustainability 14, 9029. https://doi.org/10.3390/su14159029.

Böhnke, D.; Norra, S.; Krehl, A.; Becker, R.; Naber, E.; Volk, R. (2021): Kartierung und Bewertung von Grünbeständen und deren Ökosystemleistungen in privaten Innenhöfen – Erkenntnisse einer quartierbezogenen Erhebung, Juni 29. Dresdner Flächennutzungssymposium (DFNS 2021), Dresden, Deutschland, 28.–29. Juni 2021 (Vortrag), https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000141067

Böhnke, D., Volk, R., Lützkendorf, T., Naber, E., Krehl, A., Becker, R., and Norra, S. (2021). Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier: Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe. In Flächennut-zungsmonitoring XIII: Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools. 149–157. https://doi.org/10.26084/13DFNS-P014.

Böhnke, D.; Norra, S.; Krehl, A.; Becker, R.; Naber, E.; Volk, R. (2021): Kartierung und Bewertung von Grünbeständen und deren Ökosystemleistungen in privaten Innenhöfen – Erkenntnisse einer quartierbezogenen Erhebung, Juni 29. Dresdner Flächennutzungssymposium (DFNS 2021), Dresden, Deutschland, 28.–29. Juni 2021

Volk, R.; Naber, E.; Lützkendorf, T.; Denise Böhnke; Mörmann, K.; Schultmann, F.; Norra, S. (2021): Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung, Juni 28. Dresdner Flächennutzungssymposium (DFNS 2021), Dresden, Deutschland, 28.–29. Juni 2021 (Poster) https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000141070

Böhnke, D. und Norra, S. (2021): Stadtquartiere im Klimawandel. Kommunales Nieder-schlagsmanagement in Bestand und Neubau. Erkenntnisse praxisnaher Forschung, Transforming Cities, Jg. 6 Nr. 3 2021, S.34-39, ISSN: 2366-7281

Volk, R.; Naber, E.; Lützkendorf, T.; Denise Böhnke; Mörmann, K.; Schultmann, F.; Norra, S. (2021): Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung, Juni 28. Dresdner Flächennutzungssymposium (DFNS 2021), Dresden, Deutschland, 28.–29. Juni 2021 https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000141070

Naber, Elias; Volk, Rebekka; Mörmann, Kai; Boehnke, Denise; Lützkendorf, Thomas; Schultmann, Frank (2022): Namares—A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management. In: Sustainability 14 (14), S. 8485. DOI: 10.3390/su14148485.

Volk, Rebekka; Rambhia, Mihir; Naber, Elias; Schultmann, Frank (2022): Urban Resource Assessment, Management, and Planning Tools for Land, Ecosystems, Urban Climate, Water, and Materials—A Review. In: Sustainability 14 (12), S. 7203. DOI: 10.3390/su14127203.

Schebek, Liselotte; Lützkendorf, Thomas (2022): Assessing Resource Efficiency of City Neighbourhoods. A Methodological Framework for Structuring and Practical Application of Indicators in Urban Planning. In: *Sustainability* 14 (13), S. 7951. DOI: 10.3390/su14137951.

Schebek, Liselotte; Lützkendorf, Thomas; Uhl, Mathias (2022): Handreichung. zur Typologie von Indikatoren sowie ihrer Anwendung in Planungsprozessen und Projekten zur nachhaltigen Quartiersentwicklung. Hg. v. RES:Z

Ressourceneffiziente Stadtquartiere. Projektübergreifende. Darmstadt, Karlsruhe, Münster. Online verfügbar unter: https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/wp-content/uploads/2022/03/Handreichung_Indikatoren_2022_01_18_TUprints.pdf

Norra, S. (2022): The Astysphere - a concept to overcome the polarity between cities and nature and to develop sustainable urban raw material fluxes. In: IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1078 (1), S. 12063. DOI: 10.1088/1755-1315/1078/1/012063.

Naber, Elias; Krehl, A.; Schuhmann, Rainer; Volk, Rebekka; Boehnke, Denise; Ehbrecht, Anke et al. (2023): Ergebnisbericht zu den Arbeitspaketen 7, 8 und 10 des Forschungsprojekts NaMaRes. Ausgewählte Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt NaMaRes. Stand: 11.08.2022. Hg. v. KIT. Karlsruhe. DOI: 10.5445/IR/1000158422.

Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023a): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Grundlagen. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158350.

Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023b): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Wasser. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158361.

Naber, Elias; Volk, Rebekka; Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023): NaMaRes Leitfaden – Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Fläche. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158352.

Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai; Ehbrecht, Anke; Schuhmann, Rainer (2023): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Stoffe. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158357.

Krehl, Alice; Boehnke, Denise; Norra, Stefan; Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Ökosystemleistungen. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158354.

4 Literaturverzeichnis

[1] BOTT, Helmut ; GRASSL, Gregor ; ANDERS, Stephan: *Nachhaltige Stadtplanung* : *Lebendige Quartiere, Smart Cities, Resilienz*. 2. Auflage. München : Detail Business Information GmbH, 2018

[2] BARDT, Hubertus: Kommunale Umweltpolitik zwischen strategischer Planung und Pragmatismus – das Beispiel der Anpassung an den Klimawandel. In: GADATSCH, Andreas; IHNE, Hartmut; MONHEMIUS, Jürgen; SCHREIBER, Dirk (Hrsg.): *Nachhaltiges Wirtschaften im digitalen Zeitalter* : *Innovation - Steuerung - Compliance*. Wiesbaden : Springer Gabler, 2018, S. 323–331

[3] VOLK, Rebekka ; RAMBHIA, Mihir ; NABER, Elias ; SCHULTMANN, Frank: *Urban Resource Assessment, Management, and Planning Tools for Land, Ecosystems, Urban Climate, Water, and Materials—A Review*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 12, S. 7203

[4] VOLK, Rebekka ; NABER, Elias ; LÜTZKENDORF, Thomas ; BÖHNKE, Denise ; MÖRMANN, Kai ; SCHULTMANN, Frank ; NORRA, Stefan: Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung - Zwischenergebnisse aus NaMaRes. In: MEINEL, Gotthard; KRÜGER, Tobias; EHRHARDT, Denise (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring XIII: Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools*. Berlin : Rhombos-Verlag, 2021 (IÖR-Schriften, Band 79), S. 209–219

[5] VOLK, Rebekka ; LÜTZKENDORF, Thomas ; SCHAMBELON, Sophia ; NABER, Elias ; MÖRMANN, Kai ; BÖHNKE, Denise ; NORRA, Stefan ; SCHUHMANN, Rainer ; EHBRECHT, Anke ; BALOUKTSI, Maria ; SCHULTMANN, Frank: *Stakeholder-specific assessment of environmental, economic and social effects of resource-efficiency measures in urban districts - first results*. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 588 (2020), Nr. 5, S. 52036

[6] NABER, Elias ; VOLK, Rebekka ; MÖRMANN, Kai ; BOEHNKE, Denise ; LÜTZKENDORF, Thomas ; SCHULTMANN, Frank: *Namares—A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 14, S. 8485

[7] BOEHNKE, Denise ; KREHL, Alice ; MÖRMANN, Kai ; VOLK, Rebekka ; LÜTZKENDORF, Thomas ; NABER, Elias ; BECKER, Ronja ; NORRA, Stefan: *Mapping Urban Green and Its Ecosystem Services at Microscale—A Methodological Approach for Climate Adaptation and Biodiversity*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 15, S. 9029. URL https://www.mdpi.com/2071-1050/14/15/9029

[8] BOEHNKE, Denise ; VOLK, Rebekka ; LÜTZKENDORF, Thomas ; NABER, Elias ; KREHL, Alice ; BECKER, Ronja ; NORRA, Stefan: Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier – Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe. In: MEINEL, Gotthard; KRÜGER, Tobias; EHRHARDT, Denise (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring XIII* : *Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools*. Berlin : Rhombos-Verlag, 2021 (IÖR-Schriften, Band 79), S. 149–157

[9] PFOSER, Nicole ; JENNER, Nathalie ; HENRICH, Johanna ; HEUSINGER, Jannik ; WEBER, Stephan ; SCHREINER, Johannes ; UNTEN KANASHIRO, Carlos: *Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht*. Darmstadt, 2013

[10] DIN 1986-100. 2016. *Drainage systems on private ground – Part 100: Specifications in relation to DIN EN 752 and DIN EN 12056*

[11] FRANTZESKAKI, Niki ; MCPHEARSON, Timon ; COLLIER, Marcus J. ; KENDAL, Dave ; BULKELEY, Harriet ; DUMITRU, Adina ; WALSH, Claire ; NOBLE, Kate ; VAN WYK, Ernita ; ORDÓÑEZ, Camilo ; OKE, Cathy ; PINTÉR, László: *Nature-Based Solutions for Urban Climate Change Adaptation* : *Linking Science, Policy, and Practice Communities for Evidence-Based Decision-Making*. In: *BioScience* 69 (2019), Nr. 6, S. 455–466

[12] WELL, Friederike ; LUDWIG, Ferdinand: *Blue–green architecture* : *A case study analysis considering the synergetic effects of water and vegetation*. In: *Frontiers of Architectural Research* 9 (2020), Nr. 1, S. 191–202

[13] BUNDESINSTITUT FÜR BAU, STADT.-UND RAUMFORSCHUNG (Hrsg.): *Informationen zur Raumentwicklung 3/2020* : *Geoinformationen in der Raumplanung*. 1. Auflage. Stuttgart : Franz Steiner Verlag, 2020

[14] VOSKAMP, Ilse M. ; LUCA, Claudia de ; POLO-BALLINAS, Monserrat Budding ; HULSMAN, Helena ; BROLSMA, Reinder: *Nature-Based Solutions Tools for Planning Urban Climate Adaptation* : *State of the Art*. In: *Sustainability* 13 (2021), Nr. 11, S. 6381

[15] SAIKIA, Panchali ; BEANE, George ; GARRIGA, Ricard Giné ; AVELLO, Pilar ; ELLIS, Louise ; FISHER, Sophie ; LETEN, James ; RUIZ-APILÁNEZ, Iñigo ; SHOULER, Martin ; WARD, Robin ; JIMÉNEZ, Alejandro: *City Water Resilience Framework* : *A governance based planning tool to enhance urban water resilience*. In: *Sustainable Cities and Society* 77 (2022), Nr. 1, S. 103497

[16] TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN: *Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern* : *Handlungsempfehlungen aus dem Projekt Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt am Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung*. München, 2017

[17] PANNICKE-PROCHNOW, Nadine ; KROHN, Christopher ; ALBRECHT, Juliane ; THINIUS, Karin ; FERBER, Uwe ; ECKERT, Karl: *Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung*. Abschlussbericht. Dessau-Roßlau, 2021 (Texte 141/2021)

[18] DEUTSCHER WETTERDIENST: *Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Leistungen - KOSTRA-DWD* : *Raster data on precipitation heights and rainfall amounts as a function of precipitation duration D and annuality T (recurrence interval)*. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/kostra_dwd_rasterwerte/kostra_d

wd_rasterwerte.html. – Aktualisierungsdatum: 2021-12-13 – Überprüfungsdatum 2021-12-13

[19] PFOSER, Nicole: *Fassade und Pflanze* : *Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*. Darmstadt, Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Dissertation. 2016

[20] LUBW LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ: *Verordnung des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr über die Anerkennung und Anrechnung vorzeitig durchgeführter Maßnahmen zur Kompensation von Eingriffsfolgen (Ökokonto-Verordnung – ÖKVO)*. 2010

[21] BREUNIG, Thomas: *Verfeinertes Biotopbewertungsverfahren der Stadt Karlsruhe*. 2017

[22] JAIN, Garima ; ESPEY, Jessica: *Lessons from nine urban areas using data to drive local sustainable development*. In: *npj Urban Sustainability* 2 (2022), Nr. 1, S. 87

[23] MOORS, Eddy J. ; GRIMMOND, C.S.B ; VELDHUIZEN, AB ; JÄRVI, Leena ; VAN DER BOLT, Frank: Urban water balance and hydrology models to support sustainable urban planning. In: CHRYSOULAKIS, Nektarios; CASTRO, Eduardo Anselmo de; MOORS, Eddy J. (Hrsg.): *Understanding Urban Metabolism* : Routledge, 2014, S. 122–132

[24] SCHEBEK, Liselotte ; LÜTZKENDORF, Thomas: *Assessing Resource Efficiency of City Neighbourhoods* : *A Methodological Framework for Structuring and Practical Application of Indicators in Urban Planning*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 13, S. 7951

[25] BEIER, Maike ; GERSTENDÖRFER, Jessica ; MENDZIGALL, Katja ; PAVLIK, Dirk ; TRUTE, Peter ; TILS, Robert von: *Climate Impact and Model Approaches of Blue-Green Infrastructure Measures for Neighborhood Planning*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 11, S. 6861

[26] KUGLER, Till ; SCHITTENHELM, Corinna ; VOLKMER, Stephan ; RYBA, Meinhard ; MOORMANN, Christian ; KURTH, Detlef ; KOENIGSDORFF, Roland: *Sustainable*

Heating and Cooling Management of Urban Quarters. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 7, S. 4353

[27] KOLLER, Michaela ; ECKERT, Karl ; FERBER, Uwe ; GRÄBE, Gudrun ; VERBÜCHELN, Maic ; WENDLER, Katja: *Resource Management as Part of Sustainable Urban District Development*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 7, S. 4224

[28] SCHINKEL, Ulrike ; BECKER, Nadja ; TRAPP, Manuel ; SPECK, Mike: *Assessing the Contribution of Innovative Technologies to Sustainable Development for Planning and Decision-Making Processes* : *A Set of Indicators to Describe the Performance of Sustainable Urban Infrastructures (ISI)*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 4, S. 1966

[29] HÖRNSCHEMEYER, Birgitta ; SÖFKER-RIENIETS, Anne ; NIESTEN, Jan ; ARENDT, Rosalie ; KLECKERS, Jonas ; KLEMM, Christian ; STRETZ, Celestin Julian ; REICHER, Christa ; GRIMSEHL-SCHMITZ, Winona ; WIRBALS, Daniel ; BACH, Vanessa ; FINKBEINER, Matthias ; HABERKAMP, Jens ; BUDDE, Janik ; VENNEMANN, Peter ; WALTER, Gotthard ; FLAMME, Sabine ; UHL, Mathias: *The ResourcePlan—An Instrument for Resource-Efficient Development of Urban Neighborhoods*. In: *Sustainability* 14 (2022), Nr. 3, S. 1522

[30] SCHEBEK, Liselotte ; LÜTZKENDORF, Thomas ; UHL, Mathias: *Handreichung* : *zur Typologie von Indikatoren sowie ihrer Anwendung in Planungsprozessen und Projekten zur nachhaltigen Quartiersentwicklung*. Darmstadt, Karlsruhe, Münster, 2022

[31] LÜTZKENDORF, THOMAS; MÖRMANN, KAI (2023A): *NAMARES LEITFADEN - RESSOURCENEFFIZIENZ IN DER QUARTIERSENTWICKLUNG. GRUNDLAGEN.* KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158350.

[32] NABER, ELIAS; VOLK, REBEKKA; LÜTZKENDORF, THOMAS; MÖRMANN, KAI (2023): *NAMARES LEITFADEN – RESSOURCENEFFIZIENZ IN DER QUARTIERSENTWICKLUNG. HAND-LUNGSFELD FLÄCHE.* KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158352.

[33] KREHL, ALICE; BOEHNKE, DENISE; NORRA, STEFAN; LÜTZKENDORF, THOMAS; MÖRMANN, KAI (2023): *NAMARES LEITFADEN - RESSOURCENEFFIZIENZ IN DER*

QUARTIERSENTWICK-LUNG. HANDLUNGSFELD ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN. KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158354.

[34] LÜTZKENDORF, THOMAS; MÖRMANN, KAI; EHBRECHT, ANKE; SCHUHMANN, RAINER (2023): *NAMARES LEITFADEN - RESSOURCENEFFIZIENZ IN DER QUARTIERSENTWICKLUNG. HANDLUNGSFELD STOFFE.* KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158357.

[35] LÜTZKENDORF, THOMAS; MÖRMANN, KAI (2023B): *NAMARES LEITFADEN - RESSOURCENEFFIZIENZ IN DER QUARTIERSENTWICKLUNG. HANDLUNGSFELD WASSER.* KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158361.

[36] KREHL, Alice: *Bestandserfassung von Ökosystemdienstleistungen in der Innenstadt Ost in Karlsruhe* : *(unveröffentlicht)*. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG). Bachelorarbeit. 2019

[37] LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG; BREUNIG, Thomas (Mitarb.); DEMUTH, Siegfried (Mitarb.); WAHL, Annegret (Mitarb.); GERSTNER, Herbert (Mitarb.); DÜMAS, Jochen (Mitarb.); SCHWANDNER, Julia (Mitarb.) : *Arten, Biotope, Landschaft* : *Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten*. Karlsruhe, 2018

[38] MINISTERIUM FÜR FINANZEN BADEN-WÜRTTEMBERG; TILL, Bertram (Mitarb.); BERG, Silvia (Mitarb.) : *Leitfaden zur Verkehrssicherheit – Baumkontrolle –* : *Anforderungen an die Überprüfung der Verkehrssicherheit der von Vermögen und Bau Baden-Württemberg betreuten Liegenschaften des Landes*. Stuttgart, 2018

[39] BECKER, R. ; LAMNECK, N. ; KREHL, A. ; MISCHKA, D. ; PETRIDIS, Z.: *Kartierung der Biotope, Bäume, Nutzung und Dächer in der Karlsruher Innenstadt-Ost*. Institut für Geographie und Geoökologie. Karlsruhe : 2020

[40] DICKS, S. ; GLAß, J. ; SCHLOTTKE, J. ; SCHMIDT-RIESE, E.: *Stadtklimatologische Untersuchung der Karlsruher Innenstadt-Ost mithilfe eines Klimamessfahrrads*. Abschlussbericht am Institut für Geographie und Geoökologie

(IfGG) für das Stadtökologische Praktikum im Sommersemester 2021. Karlsruhe, 2021

[41] KNIETIG, S. ; MARTIN, L. ; HUBMANN, T. ; FLOßMANN, S. ; LESZINSKI, K.: *Stadtklimatologische Untersuchungen in der Karlsruher Innenstadt-Ost*. Karlsruhe, 2021

[42] BRAND, J. ; KOITZSCH, A. ; HERBERTZ, L. ; REICHERT, C.: *Stadtökologie - Ein Film im Rahmen des Stadtökologischen Praktikums am KIT*. mp4-Filmaufnahme; Youtube. Karlsruhe, 2021

[43] BACH, J.: *Die Hitzebelastung und Auswirkungen der Umgebungsparameter des Lidellplatzes in der Karlsruher Innenstadt auf das Bioklima des Menschen*. Karlsruhe, Karlsruhe Institut of Technology, Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG). Masterarbeit. 2020

[44] JERUTKA, K.: *Structural and functional diversity of city squares – an assessment concept*. Karlsruhe, Karlsruhe Institut of Technology. Bachelor Thesis. 2020

[45] REICHERT, Carolin: *Umsetzung einer nachhaltigen Stadtentwicklung in Bebauungsplänen*. Karlsruhe, Karlsruhe Institut of Technology. Masterarbeit. 2022

[46] BRUZZO, Stella ; CHALUPSKY, Maria ; HAUWYHLER, Jakob: *Der ökologische Fußabdruck - Karlsruhe Innenstadt-Ost*. Karlsruhe, Karlsruhe Institut of Technology, Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG). Abschlussbericht. 2021

[47] GEIGER, Y.: *Modellierung stadtklimatischer Auswirkungen von Bebauungsmaßnahmen am Campus Süd des KIT auf angrenzende Stadtgebiete*. Karlsruhe, Karlsruhe Institut of Technology. 2019

[48] MANDLER, R.: *Aufbau eines stadtklimatologischen Modells zur Analyse von Kaltluftströmen und der urbanen Wärmeinsel am Beispiel der Innenstadt-Ost in Karlsruhe*. Karlsruhe, Karlsruhe Institut of Technology. Masterarbeit. 2020

[49] STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN: *Leitfaden für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung in Köln* : *Empfehlungen und Hinweise für eine zukunftsfähige Regenwasserbewirtschaftung und für die Überflutungsvorsorge bei extremen Niederschlagsereignissen*. Köln, 2018 (032018-2500)

[50] LUBW LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ: *Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg*. Karlsruhe : LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, 2016

[51] DEISTER, Lisa ; BRENNE, Fabian ; STOKMAN, Antje ; HEINRICHS, Malte ; JESKULKEM MICHAEL ; HOPPE, Holger ; UHL, Mathias: *Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung* : *Handlungsstrategien und Maßnahmen- konzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter*. SAMUWA. Stuttgart, 2016

[52] FREIE UND HANSESTADT HAMBURG: *Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung* : *Wissensdokument*. Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen [ReStra] (2015). URL https://www.hamburg.de/contentblob/4458538/2d89eeb5db6269e28ade344430a08bc9/data/wassersensible-strassenraumgestaltung.pdf

[53] MUSANGO, Josephine Kaviti ; CURRIE, PAUL, ROBINSON, BLAKE: *URBAN METABOLISM FOR RESOURCE-EFFICIENT CITIES: FROM THEORY TO IMPLEMENTATION*. Paris, 2017

[54] OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN: *Der Umweltbericht in der Praxis* : *Der Umweltbericht in der Praxis Leitfaden zur Umweltprüfung in der Bauleitplanung*. München, 2005

[55] BUNDESINSTITUT FÜR BAU, STADT.-UND RAUMFORSCHUNG: *KfW-Programm 432 „Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager“* : *Ergebnisse der Begleitforschung*. Bonn, 2017 (BBSR-Online-Publikation Nr. 25/2017)

[56] NABER, Elias ; KREHL, A. ; SCHUHMANN, Rainer ; VOLK, Rebekka ; BOEHNKE, Denise ; EHBRECHT, Anke ; NORRA, Stefan ; SCHULTMANN, Frank: *Ergebnisbericht zu den Arbeitspaketen 7, 8 und 10 des Forschungsprojekts NaMaRes : Ausgewählte Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt NaMaRes*. Stand: 11.08.2022. KIT, DOI: 10.5445/IR/1000158422.

[57] SCHMIDT, Sebastian ; BARRON, Christopher: *Mapping Impervious Surfaces Precisely—a GIS-Based Methodology Combining Vector Data and High-Resolution Airborne Imagery*. In: *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis* 4 (2020), Nr. 1, S. 1–10. URL https://link.springer.com/article/10.1007/s41651-020-00055-6

[58] INSTITUTE FOR AUTOMATION AND APPLIED INFORMATICS: *FZKViewer*. Karlsruhe : Karlsruhe Institute of Technology, 2021. URL https://www.iai.kit.edu/english/1648.php

[59] BKI BAUKOSTENINFORMATIONSZENTRUM: *BKI-Objektdaten : Kosten abgerechneter Objekte und statistische Kostenkennwerte*. F6 Freianlagen. Stuttgart : BKI, 2014

[60] BKI BAUKOSTENINFORMATIONSZENTRUM: *BKI-Objektdaten : Kosten abgerechneter Objekte und statistische Kostenkrennwerte*. F7 Freianlagen. Stuttgart : BKI, 2016

[61] BKI BAUKOSTENINFORMATIONSZENTRUM: *BKI-Objektdaten : Kosten abgerechneter Objekte und statistische Kostenkennwerte*. F8 Freianlagen. Stuttgart : BKI, 2018

[62] KOTZUR, Leander: *Future grid load of the residential building sector : Die zukünftige elektrische Netzlast der Wohngebäude*. Jülich : Forschungszentrum Jülich GmbH, Zentralbibliothek, Verlag, 2018 (Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Energie & Umwelt Band/volume 442)

[63] MANN, Gunter ; MOLLENHAUER, Felix ; GOHLKE, Rebecca: *Gebäudebegrünung in Bielefeld : Förderprogramm zur Dach- und Fassadenbegrünung*. Bielefeld, 2021

[64] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahne ; Bundeskartellamt: *Fördersätze für Solaranlagen und Mieterstromzuschlag* : *Anzulegende Werte für Solaranlagen November 2021 bis Januar 2022 (xlsx / 22 KB)*. Ab 01.11.2021. URL https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/ArchivDaten-Meldgn/start.html;jsessionid=7C31A6814EE138313657F95CB13124F2

[65] BIPVBOOST: *Parametrization, optimization and automation during design stage in order to optimize the BIPV cost-to-power ratio* : *“Bringing down costs of BIPV multifunctional solutions and processes along the value chain, enabling widespread nZEBs implementation”*. 2020

[66] Siewert, Wolfram ; Blaschke, Diana ; Gerstenberg, J. H. ; Hilbert, Sabine ; Brandt, Marina: *Orientierende Kostenschätzung für Entsiegelungsmaßnahmen* : *Arbeitshilfe*. Berlin, 2016

[67] International Union for Conservation of Nature: *Global FLR CO2 Removals Database*. URL https://infoflr.org/what-flr/global-emissions-and-removals-databases

[68] Yang, Jun ; Yu, Qian ; Gong, Peng: *Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago*. In: *Atmospheric Environment* 42 (2008), Nr. 31, S. 7266–7273

[69] Harlaß, Ralf: *Verdunstung in bebauten Gebieten* : *Evapotranspiration in Urban Areas*. Dresden, Technischen Universität Dresden. Dissertation. 2008-10-04. URL https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-ds-1223146119806-27644

[70] Stadtplanungsamt Karlsruhe: *Private Modernisierungen* : *Förderrichtlinien in den Sanierungsgebieten*. Karlsruhe, 2019

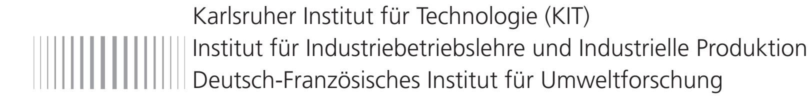
[71] Gartenbauamt Karlsruhe: *Förderprogramm zur Begrünung von Höfen, Dächern und Fassaden*. Karlsruhe, 2019

[72] BECKER, Ronja ; BÖHNKE, Denise: *Bewertungsstufen für die Biodiversität als Tabelle (nicht veröffentlicht)*. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG). Bericht. 2021

[73] KREHL, Alice: *CO2-Speicherkapazität von Stadtbäumen in Hinterhöfen* : *Berichtbestandteil in Becker, R.; Krehl, A.; Lamneck, N.; Mischka, D.; Petridis, Z.: Kartierung der Biotope, Bäume, Nutzung und Dächer in der Karlsruher Innenstadt Ost (unveröffentlicht),*. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie. Abschlussbericht Stadtökologisches Praktikum, Sommersemester 2020. 2020

[74] LIEGENSCHAFTSAMT KARLSRUHE ; TIEFBAUAMT KARLSRUHE: *Basisdaten wurden von der Stadt Karlsruhe bereitgestellt; Kartengrundlage Stadt Karlsruhe* : *©Stadt Karlsruhe*. Karlsruhe : Stadt Karlruhe, 2019

[75] KREHL, Alice: *Weiterentwicklung von Ökosystemleistungsindikatoren zur Entscheidungsunterstützung in der Stadtquartiersentwicklung* : *(unveröffentlicht)*. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG). Masterarbeit. 2022



ISSN 2194-2404

Band 1 **National Integrated Assessment Modelling zur Bewertung umweltpolitischer Instrumente.**
Entwicklung des otello-Modellsystems und dessen Anwendung auf die Bundesrepublik Deutschland.
ISBN 978-3-86644-853-7

Band 2 **Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-, Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE).**
ISBN 978-3-86644-857-5

Band 3 Frederik Trippe
Techno-ökonomische Bewertung alternativer Verfahrenskonfigurationen zur Herstellung von Biomass-to-Liquid (BtL) Kraftstoffen und Chemikalien.
ISBN 978-3-7315-0031-5

Band 4 Dogan Keles
Uncertainties in energy markets and their consideration in energy storage evaluation.
ISBN 978-3-7315-0046-9

Band 5 Heidi Ursula Heinrichs
Analyse der langfristigen Auswirkungen von Elektromobilität auf das deutsche Energiesystem im europäisschen Energieverbund.
ISBN 978-3-7315-0131-2

Band 6 Julian Stengel
Akteursbasierte Simulation der energetischen Modernisierung des Wohngebäudebestands in Deutschland.
ISBN 978-3-7315-0236-4

Band 7 Sonja Babrowski
Bedarf und Verteilung elektrischer Tagesspeicher im zukünftigen deutschen Energiesystem.
ISBN 978-3-7315-0306-4

Band 8 Marius Wunder
Integration neuer Technologien der Bitumenkalthandhabung in die Versorgungskette.
ISBN 978-3-7315-0319-4

Band 9 Felix Teufel
Speicherbedarf und dessen Auswirkungen auf die Energiewirtschaft bei Umsetzung der politischen Ziele zur Energiewende.
ISBN 978-3-7315-0341-5

Band 10 D. Keles, L. Renz, A. Bublitz, F. Zimmermann, M. Genoese, W. Fichtner, H. Höfling, F. Sensfuß, J. Winkler
Zukunftsfähige Designoptionen für den deutschen Strommarkt: Ein Vergleich des Energy-only-Marktes mit Kapazitätsmärkten.
ISBN 978-3-7315-0453-5

Band 11 Patrick Breun
Ein Ansatz zur Bewertung klimapolitischer Instrumente am Beispiel der Metallerzeugung und -verarbeitung.
ISBN 978-3-7315-0494-8

Band 12 P. Ringler, H. Schermeyer, M. Ruppert, M. Hayn, V. Bertsch, D. Keles, W. Fichtner
Decentralized Energy Systems, Market Integration, Optimization.
ISBN 978-3-7315-0505-1

Band 13 Marian Hayn
Modellgestützte Analyse neuer Stromtarife für Haushalte unter Berücksichtigung bedarfsorientierter Versorgungssicherheitsniveaus.
ISBN 978-3-7315-0499-3

Band 14 Frank Schätter
Decision support system for a reactive management of disaster-caused supply chain disturbances.
ISBN 978-3-7315-0530-3

Band 15 Robert Kunze
Techno-ökonomische Planung energetischer Wohngebäudemodernisierungen: Ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsmodell auf Basis einer vollständigen Finanzplanung.
ISBN 978-3-7315-0531-0

Band 16 A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann, M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke, S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim
ISA: Immissionsschutz beim Abbruch - Minimierung von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen) beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien aus Gebäudeabbruch.
ISBN 978-3-7315-0534-1

Band 17 Konrad Zimmer
Entscheidungsunterstützung zur Auswahl und Steuerung von Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten.
ISBN 978-3-7315-0537-2

Band 18 Kira Schumacher, Wolf Fichtner and Frank Schultmann (Eds.)
Innovations for sustainable biomass utilisation in the Upper Rhine Region.
ISBN 978-3-7315-0423-8

Band 19 Sophia Radloff
Modellgestützte Bewertung der Nutzung von Biokohle als Bodenzusatz in der Landwirtschaft.
ISBN 978-3-7315-0559-4

Band 20 Rebekka Volk
Proactive-reactive, robust scheduling and capacity planning of deconstruction projects under uncertainty.
ISBN 978-3-7315-0592-1

Band 21 Erik Merkel
Analyse und Bewertung des Elektrizitätssystems und des Wärmesystems der Wohngebäude in Deutschland.
ISBN 978-3-7315-0636-2

Band 22 Rebekka Volk (Hrsg.)
Entwicklung eines mobilen Systems zur Erfassung und Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen beim Rückbau von Infrastruktur und Produkten („ResourceApp“): Schlussbericht des Forschungsvorhabens.
ISBN 978-3-7315-0653-9

Band 23 Thomas Kaschub
Batteriespeicher in Haushalten unter Berücksichtigung von Photovoltaik, Elektrofahrzeugen und Nachfrage-steuerung.
ISBN 978-3-7315-0688-1

Band 24 Felix Hübner, Rebekka Volk, Oktay Secer, Daniel Kühn, Peter Sahre, Reinhard Knappik, Frank Schultmann, Sascha Gentes, Petra von Both
Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR): Schlussbericht des Forschungsvorhabens.
ISBN 978-3-7315-0762-8

Band 25 Karoline Fath
Technical and economic potential for photovoltaic systems on buildings.
ISBN 978-3-7315-0787-1

Band 26 Ann-Kathrin Müller
Decision Support for Biomass Value Chains for the Production of Biochemicals Considering Uncertainties.
ISBN 978-3-7315-0820-5

Band 27 Jonatan J. Gómez Vilchez
The Impact of Electric Cars on Oil Demand and Greenhouse Gas Emissions in Key Markets.
ISBN 978-3-7315-0914-1

Band 28 Carmen Schiel
Real Option Based Appraisal of Environmental Investments – An Assessment of NO_x Emission Control Techniques in Large Combustion Plants.
ISBN 978-3-7315-0925-7

Band 29 Hannes Schwarz
Optimierung der Investitions- und Einsatzplanung dezentraler Energiesysteme unter Unsicherheit.
ISBN 978-3-7315-0919-6

Band 30 nicht erschienen

Band 31 Rupert Hartel, Viktor Slednev, Hasan Ümitcan Yilmaz, Armin Ardone, Dogan Keles, Wolf Fichtner, Anke Eßer, Marian Klobasa, Matthias Kühnbach, Pia Manz, Joachim Globisch, Rainer Elsland, Martin Wietschel (Hrsg.)
Dekarbonisierung des Energiesystems durch verstärkten Einsatz erneuerbaren Stroms im Wärme-, Verkehrs- und Industriesektor bei gleichzeitigen Stilllegungen von Kraftwerken – Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit in Süddeutschland.
ISBN 978-3-7315-0879-3

Band 32 Rebekka Volk, Richard Müller, Frank Schultmann, Jérémy Rimbon, Thomas Lützkendorf, Joachim Reinhardt, Florian Knappe
Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von Baden-Württemberg „StAR-Bau" – Schlussbericht des Forschungsvorhabens.
ISBN 978-3-7315-0858-8

Band 33 Felix Hübner
Planung und Modellierung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen unter der Berücksichtigung von Unsicherheiten – Ein Beispiel zur Planung von Großprojekten.
ISBN 978-3-7315-0911-0

Band 34 Kira Schumacher
Public acceptance of renewable energies – an empirical investigation across countries and technologies.
ISBN 978-3-7315-0948-6

Band 35 Daniel Fehrenbach
Modellgestützte Untersuchung des wirtschaftlichen Potenzials sektorgekoppelter Wärmeversorgung in Wohngebäuden im Kontext der Transformation des Energiesystems in Deutschland.
ISBN 978-3-7315-0952-3

Band 36 Mariana Burkhardt
Impacts of natural disasters on supply chain performance.
ISBN 978-3-7315-1020-8

Band 37 Katrin Seddig
Elektromobile Flotten im lokalen Energiesystem mit Photovoltaikeinspeisung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten.
ISBN 978-3-7315-1031-4

Band 38 Florian Diehlmann
Facility Location Planning in Relief Logistics: Decision Support for German Authorities.
ISBN 978-3-7315-1120-5

Band 39 Richard Carl Müller
Entscheidungsunterstützung zur Planung und Bewertung nachhaltiger industrieller Wertschöpfungsketten – dargestellt am Beispiel von Fahrzeugteilen.
ISBN 978-3-7315-1149-6

Band 40 Miriam Isabelle Klein
Cross-Border Collaboration in Disaster Management.
ISBN 978-3-7315-1195-3

Band 41 David Balussou
An analysis of current and future electricity production from biogas in Germany.
ISBN 978-3-7315-1035-2

Band 42 Rebekka Volk, Elias Naber, Frank Schultmann, Thomas Lützkendorf, Kai Mörmann, Stefan Norra, Denise Böhnke, Alice Krehl, Rainer Schuhmann, Anke Ehbrecht, Thomas Beck, Philipp Tomaschewski, Julia Hackenbruch, Sybille Rosenberg, Norbert Hacker
Bewertung der Ökologie, Wirtschaftlichkeit und sozialen Effekte von ressourceneffizienzsteigernden Maßnahmen auf Quartiersebene – von der volkswirtschaftlichen zur akteursspezifischen Perspektive (NaMaRes): Schlussbericht des Forschungsvorhabens.
ISBN 978-3-7315-1293-6

INSTITUT FÜR INDUSTRIEBETRIEBSLEHRE UND INDUSTRIELLE PRODUKTION

DEUTSCH-FRANZÖSISCHES INSTITUT FÜR UMWELTFORSCHUNG

Das Ziel des NaMaRes-Projekts war die Entwicklung von digitalen Werkzeugen und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für einen integrierten Planungs- und Transformationsprozess auf Quartiersebene hin zu ressourcen-effizienten Bestandsquartieren. Das Konsortium bestand aus vier Forschungsinstituten des Karlsruher Instituts für Technologie und zwei Praxispartnern. Die zentralen Ergebnisse des Projekts sind zahlreiche wissenschaftlich begutachtete Publikationen, ein akademisches Berechnungsmodell und eine darauf aufbauende Webanwendung (Software) sowie die Dokumentation von Grundlagen und geeigneten Indikatoren in Leitfäden zu den Themen Wasser, Stoffe, Fläche und Ökosystemleistungen. Die Projektergebnisse tragen maßgeblich zu einer verbesserten Informationslage über Bestandsquartiere hinsichtlich ihrer Ressourcenverfügbarkeit und -nutzung bei und bieten eine wichtige Grundlage für Planer/-innen, Stakeholder und Entscheider/-innen in der politischen und gesellschaftlichen Diskussion sowie der konkreten städtischen Umsetzungsplanung und Investitionsentscheidung. Das Projekt leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Operationalisierung und lokalen Umsetzung der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen in Städten.

ISSN 2194-2404
ISBN 978-3-7315-1293-6

ISBN 978-3-7315-1293-6
9 783731 512936